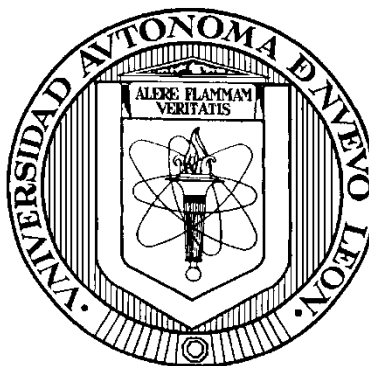


**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**COMPORTAMIENTO AGRIETAMIENTO-DEFLEXIONES  
EN ELEMENTOS CONTINUOS DE CONCRETO PARCIALMENTE  
PRESFORZADO CON CABLES NO ADHERIDOS**

**Por**

**ADOLFO ARTURO ELIAS CHAVEZ**

**Como requisito parcial para obtener el Grado de  
Doctor en Ingeniería de Materiales de Construcción y Estructuras**

**Mayo, 2016**

## RESUMEN

**Adolfo Arturo Elías Chávez**

**Fecha de Graduación: Mayo, 2016**

**Universidad Autónoma de Nuevo León**

**Facultad de Ingeniería Civil**

**Título del Estudio:**

**COMPORTAMIENTO  
AGRIETAMIENTO-DEFLEXIONES EN  
ELEMENTOS CONTINUOS DE CONCRETO  
PARCIALMENTE PRESFORZADO  
CON CABLES NO ADHERIDOS**

**Número de páginas: 239**

**Candidato para el grado de Doctor en  
Ingeniería de Materiales de Construcción y  
Estructuras**

**Área de Estudio: Ingeniería Estructural**

**Propósito y Método del Estudio:** El concepto original del presforzado total consiste en crear compresiones en el concreto sin permitir esfuerzos de tensión para las cargas de trabajo, mientras que para el "Presforzado Parcial" se permiten tensiones en la etapa de servicio, que producirían algún agrietamiento dependiendo de las cargas aplicadas, las cuales serán tomadas con la utilización de acero convencional adicional. Actualmente, mediante la utilización de los criterios y recomendaciones de diseño, se puede asegurar la resistencia a la flexión y los criterios de servicio, sin embargo, no hay suficiente investigación para estimar con mayor precisión estos parámetros, por lo cual, la presente investigación, consistió en la realización de estudios experimentales en vigas continuas parcialmente presforzadas con cables no adheridos con el objetivo de evaluar el comportamiento a la flexión para diferentes etapas de carga, determinando los esfuerzos y las deformaciones actuantes y, relacionando el grado de agrietamiento con la rigidez estructural y, su influencia sobre las deflexiones, considerando variables como la relación entre la longitud de los claros continuos, la sección transversal y la relación de presforzado parcial (PPR).

**Contribuciones y Conclusiones:** La relación que existe entre la rigidez a la flexión y el grado de agrietamiento de un elemento de concreto parcialmente presforzado con cables no adheridos, depende de las cargas actuantes al inicio del agrietamiento y de la resistencia a la flexión, de la compatibilidad deformaciones de las secciones transversales, y, principalmente de la distribución del acero convencional en la zona de tensión y de la relación de presforzado parcial. Las ecuaciones propuestas, predicen satisfactoriamente el comportamiento de las vigas de concreto parcialmente presforzadas con cables no adheridos para la etapa de cargas de trabajo, las cuáles se relacionan con los esfuerzos de los materiales, las deflexiones y los agrietamientos y pueden considerarse adecuadas para el diseño y la revisión de los estados límite de falla de servicio.

**FIRMA DEL ASESOR:**





UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FIC

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**DR. CÉSAR ANTONIO JUÁREZ ALVARADO**  
**Subdirector de Estudios de Posgrado**  
**Facultad de Ingeniería Civil UANL.**  
**Presente.-**

Estimado Dr. Juárez Alvarado:

En atención a su oficio en el que me informa que fui designado como Evaluador de la Tesis "**Comportamiento Agrietamiento-Deflexiones en Elementos Continuos de Concreto Parcialmente Presforzado con Cables no Adheridos**", que presenta el **M.C. Adolfo Arturo Elías Chávez**, como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ingeniería de Materiales de Construcción y Estructuras, me permito informar a Usted que después de haber leído y evaluado la calidad de la tesis, dictamino que la misma es **APROBADA**.

Sin otro en particular, le reitero mis distinguidas consideraciones y un afectuoso saludo.

ATENTAMENTE,  
"ALERE FLAMMAM VERITATIS "  
Cd. Universitaria, a 28 de abril del 2016

*Jorge H. Chávez*

**DR. JORGE HUMBERTO CHÁVEZ GÓMEZ**  
**EVALUADOR**



SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIO  
DE POSGRADO

C.c.p. Archivo.



"Educación de clase mundial,  
un compromiso social"

FO-SEP-01

Av. Universidad S/N Cd. Universitaria Apdo. Postal 17  
San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, C.P. 66455  
Tels.: (81) 1442 4400 ext. 4447 y 4448, 6329 4000 ext. 7216 y 7234  
<http://www.fic.uanl.mx>  
Correo: [subpos@uanl.mx](mailto:subpos@uanl.mx)



**UADY**  
FACULTAD DE  
INGENIERÍA

27 de abril de 2016

**DR. CÉSAR ANTONIO JUÁREZ ALVARADO**  
Subdirector de Estudios de Posgrado  
Facultad de Ingeniería Civil UANL.

Estimado Dr. Juárez Alvarado.-

En atención a su oficio en el que me informa que fui designado como Evaluador de la Tesis **"Comportamiento Agrietamiento-Deflexiones en Elementos Continuos de Concreto Parcialmente Presforzado con Cables no Adheridos"**, que presenta el **MC Adolfo Arturo Elías Chávez**, como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ingeniería de Materiales de Construcción y Estructuras, me permito informar a Usted que después de haber leído y evaluado la calidad de la tesis, dictamino que la misma es **APROBADA**.

Sin otro en particular, le reitero mis distinguidas consideraciones y un afectuoso saludo.

ATENTAMENTE,  
**"LUZ, CIENCIA Y VERDAD "**

Dr. Jorge Luis Varela Rivera  
Profesor – Investigador  
Facultad de Ingeniería, UADY

C.c.p. Archivo.





UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FIC

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL

**DR. CÉSAR ANTONIO JUÁREZ ALVARADO**  
Subdirector de Estudios de Posgrado  
Facultad de Ingeniería Civil, UANL  
Presente.-

Estimado Dr. Juárez Alvarado.-

En atención a su oficio en el que me informa que fui designado como Evaluador de la Tesis **"Comportamiento Agrietamiento-Deflexiones en Elementos Continuos de Concreto Parcialmente Presforzado con Cables no Adheridos"**, que presenta el **M.C. Adolfo Arturo Elías Chávez**, como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ingeniería de Materiales de Construcción y Estructuras, me permito informar a Usted que después de haber leído y evaluado la calidad de la tesis, dictamino que la misma es **APROBADA**.

Sin otro en particular, le reitero mis distinguidas consideraciones y un afectuoso saludo.

Atentamente,  
"Alere Flammam Veritatis"  
Ciudad Universitaria, 27 de abril del 2016

**DR. ALEJANDRO DURÁN HERRERA**  
Evaluador



C.c.p. Archivo.



*"Educación de clase mundial,  
un compromiso social"*

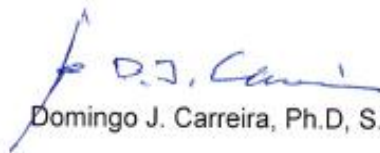
Ave. Universidad S/N Ciudad Universitaria  
San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. C.P. 66455  
Tel.: 1442 4400 Fax: 1442 4443  
<http://www.fic.uanl.mx>



**DR. CÉSAR ANTONIO JUÁREZ ALVARADO**  
**Subdirector de Estudios de Posgrado**  
**Facultad de Ingeniería Civil UANL.**

Estimado Dr. Juárez Alvarado.-

En atención a su oficio en el que me informa que fui designado como Evaluador de la Tesis "**Comportamiento Agrietamiento-Deflexiones en Elementos Continuos de Concreto Parcialmente Presforzado con Cables no Adheridos**", que presenta el **MC Adolfo Arturo Elías Chávez**, como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ingeniería de Materiales de Construcción y Estructuras, me permito informar a Usted que después de haber leído y evaluado la calidad de la tesis, dictamino que la misma es **APROBADA**. Sin otro en particular, le reitero mis distinguidas consideraciones y un afectuoso saludo.



Domingo J. Carreira, Ph.D, S.E., P.E..

Profesor Adjunto de Ingeniería Estructural

"ALERE FLAMMAM VERITATIS "

Cd. Universitaria, a 27 de abril del 2016

C.c.p. Archivo.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FIC



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Oficio SEP-280-2016

**ING. LÁZARO VARGAS GUERRA**

Director del Departamento de Escolar y de  
Archivo de la UANL  
Presente.-

Estimado Ing. Vargas:

Por este conducto me permito comunicarle que el **M.C. Adolfo Arturo Elías Chávez**, pasante del **Doctorado en Ingeniería de Materiales de Construcción y Estructuras**, ha solicitado su examen de grado, para lo cual a cubierto la totalidad de los requisitos académicos y administrativos que exige el Reglamento de Exámenes Profesionales y el Reglamento General de Estudios de Posgrado de nuestra Institución.

De la manera más atenta, le solicito su colaboración para que se dé el trámite correspondiente en el Departamento a su digno cargo.

Sin más por el momento, quedo a sus apreciables órdenes para cualquier duda o aclaración.

ATENTAMENTE,  
"ALERE FLAMMAM VERITATIS"  
Cd. Universitaria a 2 de mayo del 2016

**DR. CÉSAR ANTONIO JUÁREZ ALVARADO**  
Subdirector de Estudios de Posgrado



SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIO  
DE POSGRADO

C.c.p. Archivo.

Rtp.



"Educación de clase mundial,  
un compromiso social"

FO-SEP-01

Av. Universidad S/N Cd. Universitaria Apdo. Postal 17  
San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, C.P. 66455  
Tels.: (81) 1442 4400 ext. 4447 y 4448, 8329 4000 ext. 7216 y 7234  
<http://www.fic.uanl.mx>  
Correo: [subpos@uanl.mx](mailto:subpos@uanl.mx)



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FIC

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Oficio: SEP-279-16

**ING. LÁZARO VARGAS GUERRA**  
Director del Departamento de Escolar y de  
Archivo de la UANL  
PRESENTE.-

Estimado Ing. Vargas:

Por este conducto me permito comunicarle que el **M.C. Adolfo Arturo Elías Chávez**, pasante del **Doctorado en Ingeniería de Materiales de Construcción y Estructuras**, ha terminado su tesis de investigación **"Comportamiento agrietamiento-deflexiones en elementos continuos de concreto-parcialmente presforzado con cables no adheridos"**, para lo cual, el M.C. Elías ha dedicado seis años en desarrollo experimental, análisis de resultados, redacción y correcciones de la tesis, lo anterior comprendido en los semestres agosto-diciembre de 2009 a agosto-diciembre de 2015.

Sin más por el momento, quedo a sus apreciables órdenes para cualquier duda o aclaración.

ATENTAMENTE,  
"ALERE FLAMAM VERITATIS"  
Cd. Universitaria a 2 de mayo del 2016.

**DR. CÉSAR ANTONIO JUÁREZ ALVARADO**  
Subdirector de Estudios de Posgrado



SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS  
DE POSGRADO

C.c.p. Archivo.  
Rtp.



"Educación de clase mundial,  
un compromiso social"

FO-SEP-01

Av. Universidad S/N Cd. Universitaria Apdo. Postal 17  
San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, C.P. 66455  
Tels.: (81) 1442 4400 ext. 4447 y 4448, 8329 4000 ext. 7216 y 7234  
<http://www.fic.uanl.mx>  
Correo: subpos@uanl.mx



**"COMPORTAMIENTO AGRIETAMIENTO-DEFLEXIONES  
EN ELEMENTOS CONTINUOS DE CONCRETO PARCIALMENTE  
PRESFORZADO CON CABLES NO ADHERIDOS"**

Aprobación de la tesis:

Dr. Jorge Chávez Gómez  
Evaluador

Dr. Jorge Luis Varela Rivera  
Evaluador

Dr. Alejandro Durán Herrera  
Co-Director

Dr. Domingo Carreira  
Co-Director Externo

Dr. César Juárez Alvarado  
Director de Tesis  
Subdirector de Estudios de Posgrado

## **DEDICATORIA**

Dedico especialmente esta tesis:

A mi esposa, por su apoyo, confianza y aliento

Adriana Montemayor Villela

A mis hijos:

Adolfo Arturo

Angel Adrián

Adriana Lizbeth

A mis padres:

† Filiberto Elías Flores

María Guadalupe Chávez García

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Facultad de Ingeniería Civil (FIC) y al Instituto de Ingeniería Civil (IIC), de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), estando a cargo de las administraciones del M.I Luis Manuel Aranda y del Dr. Pedro L. Valdez Tamez, por su apoyo y disponibilidad a la infraestructura necesaria para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Al Fondo Sectorial de Investigación para la Educación SEP-CONACYT por el apoyo financiero brindado por medio del proyecto No. CB-2012-01-179504. Al Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica (PAICYT 2010) de la UANL, por su apoyo financiero inicial a esta investigación mediante el proyecto No. IT559-10.

Al director de tesis, Dr. César A. Juárez Alvarado, por su apoyo, asesorías y recomendaciones para llevar a cabo el desarrollo de esta investigación.

Al co-director, Dr. Alejandro Durán Herrera, por sus asesorías y por las facilidades para el acceso al laboratorio de Tecnología del Concreto para la elaboración de los elementos de concreto de esta investigación.

Al co-director externo de tesis, Dr. Domingo Carreira por su asesoría, enseñanzas y sus excelentes comentarios y recomendaciones.

Al Dr. Jorge Chávez Gómez, como evaluador de la tesis y por la accesibilidad a la infraestructura del departamento de estructuras y por el apoyo del personal a su cargo, para llevar a cabo el desarrollo de la investigación.

Al evaluador, Dr. Jorge L. Varela Rivera por sus comentarios y recomendaciones para el enriquecimiento de la tesis.

## **TABLA DE CONTENIDO**

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 Marco Teórico	2
1.1.1 Relación de presforzado parcial.	5
1.1.2 Cables no-adheridos	6
1.1.3 Continuidad de elementos presforzados	8
1.1.4 Comportamiento a flexión	9
1.1.4.1 Comportamiento bajo cargas de servicio	11
1.2 Antecedentes	15
1.3 Planteamiento del Problema	24
1.4 Importancia de la investigación	25
1.5 Hipótesis	26
1.6 Objetivos	26
1.6.1 Objetivo General	26
1.6.2 Objetivos Particulares	27



<b>CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>25</b>
2.1 Introducción	28
2.2 Desarrollo de la Investigación	28
2.2.1 Metodología analítica	30
2.3 Dimensionamiento de las vigas para los ensayos	32
2.4 Materiales para la fabricación de las vigas	35
2.4.1 Cables de acero de presfuerzo y sistema de anclaje	35
2.4.2 Acero de refuerzo convencional	37
2.4.3 Concreto	39
2.5 Instrumentación para la medición de las deformaciones unitarias en las vigas	39
2.6 Fabricación de las vigas de concreto	43
2.7 Tensado de los cables de presfuerzo	45
2.8 Aplicación de las cargas durante los ensayos	46
2.9 Mediciones de deformaciones y de anchos de grietas durante los ensayos	49
<b>CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>51</b>
3.1 Resultados de los ensayos de las muestras de cilindros de concreto	51
3.2 Etapa de tensado de los cables de presfuerzo	55
3.3 Etapa de aplicación de cargas de ensaye	61
3.4 Relación entre las cargas actuantes y las deformaciones de las vigas	62

3.5	Rigidez a l flexión	66
3.6	Anchos de grietas y distribución de agrietamientos	71
3.7	Resistencia a la flexión	86
<b>CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		<b>104</b>
4.1	Conclusiones	104
4.2	Recomendaciones	107
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>		<b>110</b>
<b>APÉNDICES</b>		<b>121</b>
Apéndice A. Presión de tensado y alargamientos en cables de presfuerzo		122
Apéndice B. Cálculo de pérdidas de presfuerzo		127
Apéndice C. Esfuerzos para la etapa inicial de carga		130
Apéndice D. Tablas de datos adquiridos durante los ensayos de las vigas		137
Apéndice E. Tablas de momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos		161
Apéndice F. Diagramas de momentos obtenidos con las cargas aplicadas durante los ensayos		174
Apéndice G. Gráficas de momentos actuantes vs. esfuerzos en los materiales (acero de presfuerzo, acero de refuerzo y concreto)		189
Apéndice H. Gráficas de momentos actuantes vs. curvatura		204

Apéndice I. Tablas de anchos de grieta, factor de rigidez, relación de momentos y deformaciones unitarias en fibra de tensión	209
Apéndice J. Gráficas de momentos actuantes vs. ancho de grieta experimental	222
Apéndice K. Gráficas de factor de rigidez vs. ancho de grieta experimental	227
Apéndice L. Gráficas de momentos actuantes vs. ancho de grieta calculado y medido experimentalmente	232

## LISTA DE TABLAS

Tabla	Descripción	Página
2.1	Identificación de vigas continuas para los ensayos.	33
2.2	Proporcionamiento por mezcla de concreto para los 12 tipos de vigas incluyendo humedad de obra (H.O.).	44
2.3	Carga teórica esperada y carga máxima aplicada en vigas.	48
3.1	Resistencia a la compresión ( $f'_{cr}$ ) a los 28 días (MPa).	53
3.2	Resistencia a la compresión ( $f'_{cr}$ ) en la etapa del ensaye de las vigas (MPa). Fecha de ensaye: 24-marzo-2015.	53
3.3	Módulo de Elasticidad a la compresión del concreto para la etapa del ensaye de las vigas (GPa). Fecha de ensaye: 24-marzo-2015.	54
3.4	Alargamientos de los cables de presfuerzo.	56
3.5	Esfuerzos en vigas debidos al presfuerzo efectivo después de pérdidas más carga equivalente: $f_{se} + w_{eq}$ (MPa).	60
3.6	Esfuerzos en vigas debidos al presfuerzo efectivo después de pérdidas más la carga equivalente más el peso propio: $f_{se} + w_{eq} + w_{pp}$ (MPa).	60
3.7	Anchos de grieta medidos durante los ensayos de las vigas V-1, V-2 y V-3 (mm).	75



3.8	Anchos de grieta medidos durante los ensayos de las vigas V-4, V-5 y V-6 (mm).	76
3.9	Anchos de grieta medidos durante los ensayos de las vigas V-7, V-8 y V-9 (mm).	77
3.10	Anchos de grieta medidos durante los ensayos de las vigas V-10, V-11 y V-12 (mm).	78
3.11	Momentos y esfuerzos para viga V-1 (PPR = 0.79).	87
3.12	Momentos y esfuerzos para viga V-2 (PPR = 0.65).	88
3.13	Momentos y esfuerzos para viga V-3 (PPR = 0.55).	89
3.14	Momentos y esfuerzos para viga V-4 (PPR = 0.79).	90
3.15	Momentos y esfuerzos para viga V-5 (PPR = 0.65).	91
3.16	Momentos y esfuerzos para viga V-6 (PPR = 0.55).	92
3.17	Momentos y esfuerzos para viga V-7 (PPR = 0.79).	93
3.18	Momentos y esfuerzos para viga V-8 (PPR = 0.65).	94
3.19	Momentos y esfuerzos para viga V-9 (PPR = 0.55).	95
3.20	Momentos y esfuerzos para viga V-10 (PPR = 0.79).	96
3.21	Momentos y esfuerzos para viga V-11 (PPR = 0.65).	97
3.22	Momentos y esfuerzos para viga V-12 (PPR = 0.55).	98
3.23	Resistencia a la flexión teórica y con los esfuerzos de los cables obtenidos de los ensayos de las vigas.	101
3.24	Esfuerzos en los cables de presfuerzo y momentos obtenidos de los ensayos de las vigas.	102
3.25	Relación de esfuerzos y momentos máximos con respecto a los esfuerzos y momentos cuando se alcanzó el límite de fluencia en el acero convencional y con respecto a los valores determinados con el código ACI-318.	103

A.1	Presión de tensado y alargamientos en cables de presfuerzo (vigas V-1, V-2 y V-3).	123
A.2	Presión de tensado y alargamientos en cables de presfuerzo (vigas V-4, V-5 y V-6).	124
A.3	Presión de tensado y alargamientos en cables de presfuerzo (vigas V-7, V-8 y V-9).	125
A.4	Presión de tensado y alargamientos en cables de presfuerzo (vigas V-10, V-11 y V-12).	126
C.1	Esfuerzos en vigas debidos al presfuerzo efectivo después de pérdidas y al peso propio (MPa). Vigas V-1, V-2 y V-3 (claros 2.4-2.4-2.4 m, sección transversal de 0.15 x 0.30 m).	134
C.2	Esfuerzos en vigas debidos al presfuerzo efectivo después de pérdidas y al peso propio (MPa). Vigas V-4, V-5 y V-6 (claros 2.4-2.4-2.4 m, sección transversal en forma de “U” invertida de 0.15 x 0.50 m).	134
C.3	Esfuerzos en vigas debidos al presfuerzo efectivo después de pérdidas y al peso propio (MPa). Vigas V-7, V-8 y V-9 (claros 2.4-3.6-2.4 m, sección transversal de 0.15 x 0.30 m).	135
C.4	Esfuerzos en vigas debidos al presfuerzo efectivo después de pérdidas y al peso propio (MPa). Vigas V-10, V-11 y V-12 (claros 2.4-3.6-2.4 m, sección transversal en forma de “U” invertida de 0.15 x 0.50 m).	135
D.1	Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-1A.	138
D.2	Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-1B.	139
D.3	Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-2A.	140

D.4	Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-2B.	141
D.5	Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-3A.	142
D.6	Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-3B.	143
D.7	Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-4B.	144
D.8	Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-4B.	145
D.9	Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-5A.	146
D.10	Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-5B.	147
D.11	Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-6A.	148
D.12	Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-6B.	149
D.13	Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-7A.	150
D.14	Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-7B.	151
D.15	Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-8B.	152
D.16	Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-9A.	153
D.17	Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-9A.	154

D.18	Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-10A.	155
D.19	Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-10B.	156
D.20	Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-11A.	157
D.21	Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-11B.	158
D.22	Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-12A.	159
D.23	Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-12B.	160
E.1	Momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos para viga V-1 (PPR = 0.79).	162
E.2	Momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos para viga V-2 (PPR = 0.65).	163
E.3	Momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos para viga V-3 (PPR = 0.55).	164
E.4	Momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos para viga V-4 (PPR = 0.79).	165
E.5	Momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos para viga V-5 (PPR = 0.65).	166
E.6	Momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos para viga V-6 (PPR = 0.55).	167
E.7	Momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos para viga V-7 (PPR = 0.79).	168
E.8	Momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos para viga V-8 (PPR = 0.65).	169



E.9	Momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos para viga V-9 (PPR = 0.55).	170
E.10	Momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos para viga V-10 (PPR = 0.79).	171
E.11	Momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos para viga V-11 (PPR = 0.65).	172
E.12	Momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos para viga V-12 (PPR = 0.55).	173
I.1	Ancho de Grieta, Factor de Rigidez, Relación de Momentos y deformación unitaria en fibra de tensión para viga V-1 (PPR = 0.79).	210
I.2	Ancho de Grieta, Factor de Rigidez, Relación de Momentos y deformación unitaria en fibra de tensión para viga V-2 (PPR = 0.65).	211
I.3	Ancho de Grieta, Factor de Rigidez, Relación de Momentos y deformación unitaria en fibra de tensión para viga V-3 (PPR = 0.55).	212
I.4	Ancho de Grieta, Factor de Rigidez, Relación de Momentos y deformación unitaria en fibra de tensión para viga V-4 (PPR = 0.79).	213
I.5	Ancho de Grieta, Factor de Rigidez, Relación de Momentos y deformación unitaria en fibra de tensión para viga V-5 (PPR = 0.65).	214
I.6	Ancho de Grieta, Factor de Rigidez, Relación de Momentos y deformación unitaria en fibra de tensión para viga V-6 (PPR = 0.55).	215
I.7	Ancho de Grieta, Factor de Rigidez, Relación de Momentos y deformación unitaria en fibra de tensión para viga V-7 (PPR = 0.79).	216

I.8	Ancho de Grieta, Factor de Rigidez, Relación de Momentos y deformación unitaria en fibra de tensión para viga V-8 (PPR = 0.65).	217
I.9	Ancho de Grieta, Factor de Rigidez, Relación de Momentos y deformación unitaria en fibra de tensión para viga V-9 (PPR = 0.55).	218
I.10	Ancho de Grieta, Factor de Rigidez, Relación de Momentos y deformación unitaria en fibra de tensión para viga V-10 (PPR = 0.79).	219
I.11	Ancho de Grieta, Factor de Rigidez, Relación de Momentos y deformación unitaria en fibra de tensión para viga V-11 (PPR = 0.65).	220
I.12	Ancho de Grieta, Factor de Rigidez, Relación de Momentos y deformación unitaria en fibra de tensión para viga V-12 (PPR = 0.55).	221
L.1	Factores $K_w$ obtenidos experimentalmente para la ecuación propuesta del ancho de grieta.	229

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
1.1	Curvas Carga-Deflexión para varios grados de presfuerzo.	4
1.2	Cables no adheridos.	6
1.3	Construcción de losas en dos direcciones con cables no adheridos.	8
1.4	Arreglo típico de una viga parcialmente presforzada continua.	9
1.5	Comportamiento elástico-lineal y distribución de esfuerzos y deformaciones unitarias supuestas (Naaman, 1985).	9
1.6	Fuerzas y deformaciones unitarias para una sección transversal (Naaman, 1985).	10
1.7	Rangos de esfuerzos típicos en el acero de presfuerzo para diferentes niveles de presfuerzo en elementos con cables adheridos (Naaman, 1982).	12
1.8	Variación del ancho de grieta y de la curvatura conforme a la aplicación de la carga viva (Naaman, 1982).	14
2.1	Detalle del acero de presfuerzo y del acero convencional en las vigas continuas.	33
2.2	Secciones transversales de las vigas y su reforzamiento.	34
2.3	Ubicación de las cargas y trayectoria de los cables de post-tensado en vigas continuas.	35

2.4	Ensaye de cables de presfuerzo para verificar su resistencia.	36
2.5	Anclaje de tensado en los extremos de las vigas	37
2.6	Anclaje muerto en los extremos de las vigas	38
2.7	Ensaye de varillas de refuerzo convencional.	38
2.8	Localización de medidores de deformación unitaria	40
2.9	Colocación de medidores de deformación unitaria en varillas de acero convencional.	41
2.10	Colocación de medidores de deformación unitaria en cables de acero de presfuerzo.	42
2.11	Colocación de medidores de deformación unitaria en zonas del concreto a compresión.	42
2.12	Colado y vibrado del concreto para un par de vigas del mismo tipo.	43
2.13	Tensado simultáneo de cables.	46
2.14	Equipo de adquisición de datos “Daq Mx”.	46
2.15	Anclaje de los cables de Presfuerzo.	46
2.16	Esquema de aplicación de cargas en vigas continuas.	47
2.17	Sistema de vigas de acero para la aplicación de cargas.	47
2.18	Mediciones durante los ensayos.	50
3.1	Ensaye de cilindros a compresión y del Módulo de Elasticidad.	52
3.2	Diagrama de Tensado para vigas con claros de 2.4-2.4-2.4 m.	57
3.3	Diagrama de Tensado para vigas con claros de 2.4-3.6-2.4 m.	58
3.4	Momento vs. Deflexión, Sección 300 x 150 mm, Claro 1 (V-1, V-2 y V-3).	64

3.5	Momento vs. Deflexión, Sección 500 x 150 mm, Claro 1 (V-4, V-5 y V-6).	64
3.6	Momento vs. Deflexión, Sección 300 x 150 mm, Claro 2 (V-1, V-2 y V-3).	64
3.7	Momento vs. Deflexión, Sección 500 x 150 mm, Claro 2 (V-4, V-5 y V-6).	64
3.8	Momento vs. Deflexión, Sección 300 x 150 mm, Claro 3 (V-1, V-2 y V-3).	64
3.9	Momento vs. Deflexión, Sección 500 x 150 mm, Claro 3 (V-4, V-5 y V-6).	64
3.10	Momento vs. Deflexión, Sección 300 x 150 mm, Claro 1 (V-7, V-8 y V-9).	65
3.11	Momento vs. Deflexión, Sección 500 x 150 mm, Claro 1 (V-10, V-11 y V-12).	65
3.12	Momento vs. Deflexión, Sección 300 x 150 mm, Claro 2 (V-7, V-8 y V-9).	65
3.13	Momento vs. Deflexión, Sección 500 x 150 mm, Claro 2 (V-10, V-11 y V-12).	65
3.14	Momento vs. Deflexión, Sección 300 x 150 mm, Claro 3 (V-7, V-8 y V-9).	65
3.15	Momento vs. Deflexión, Sección 500 x 150 mm, Claro 3 (V-10, V-11 y V-12).	65
3.16	Gráfica “FR” vs. $(M_a - M_{cr}) / (M_n - M_{cr})$ , Sección 300 x 150 mm, Claro 1 (V-1, V-2 y V-3).	68
3.17	Gráfica “FR” vs. $(M_a - M_{cr}) / (M_n - M_{cr})$ , Sección 500 x 150 mm, Claro 1 (V-4, V-5 y V-6).	68
3.18	Gráfica “FR” vs. $(M_a - M_{cr}) / (M_n - M_{cr})$ , Sección 300 x 150 mm, Claro 2 (V-1, V-2 y V-3).	68
3.19	Gráfica “FR” vs. $(M_a - M_{cr}) / (M_n - M_{cr})$ , Sección 500 x 150 mm, Claro 2 (V-4, V-5 y V-6).	68
3.20	Gráfica “FR” vs. $(M_a - M_{cr}) / (M_n - M_{cr})$ , Sección 300 x 150 mm, Claro 3 (V-1, V-2 y V-3).	68

3.21	Gráfica “ <i>FR</i> ” vs. $(M_a - M_{cr}) / (M_n - M_{cr})$ , Sección 500 x 150 mm, Claro 3 (V-4, V-5 y V-6).	68
3.22	Gráfica “ <i>FR</i> ” vs. $(M_a - M_{cr}) / (M_n - M_{cr})$ , Sección 300 x 150 mm, Claro 1 (V-7, V-8 y V-9).	69
3.23	Gráfica “ <i>FR</i> ” vs. $(M_a - M_{cr}) / (M_n - M_{cr})$ , Sección 500 x 150 mm, Claro 1 (V-10, V-11 y V-12).	69
3.24	Gráfica “ <i>FR</i> ” vs. $(M_a - M_{cr}) / (M_n - M_{cr})$ , Sección 300 x 150 mm, Claro 2 (V-7, V-8 y V-9).	69
3.25	Gráfica “ <i>FR</i> ” vs. $(M_a - M_{cr}) / (M_n - M_{cr})$ , Sección 500 x 150 mm, Claro 2 (V-10, V11 y V-12).	69
3.26	Gráfica “ <i>FR</i> ” vs. $(M_a - M_{cr}) / (M_n - M_{cr})$ , Sección 300 x 150 mm, Claro 3 (V-7, V-8 y V-9).	69
3.27	Gráfica “ <i>FR</i> ” vs. $(M_a - M_{cr}) / (M_n - M_{cr})$ , Sección 500 x 150 mm, Claro 3 (V-10, V-11 y V-12).	69
3.28	Localización típica de grietas en vigas V-1, V-2 y V-3 (300 x 150 mm). Media elevación lado izquierdo.	72
3.29	Localización típica de grietas en vigas V-4, V-5 y V-6 (500 x 150 mm). Media elevación lado izquierdo.	72
3.30	Localización típica de grietas en vigas V-7, V-8 y V-9 (300 x 150 mm). Media elevación lado izquierdo.	73
3.31	Localización típica de grietas en vigas V-10, V-11 y V-12 (300 x 150 mm). Media elevación lado izquierdo.	73
3.32	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta, Sección de 300 x 150 mm, Claro Exterior (V-1, V-2 y V-3).	80
3.33	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta, Sección de 500 x 150 mm, Claro Exterior (V-4, V-5 y V-6).	80
3.34	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta, Sección de 300 x 150 mm, Apoyo Interior (V-1, V-2 y V-3).	81

3.35	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta, Sección de 500 x 150 mm, Apoyo Interior (V-4, V-5 y V-6).	81
3.36	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta, Sección de 300 x 150 mm, Claro Interior (V-1, V-2 y V-3).	81
3.37	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta, Sección de 500 x 150 mm, Claro Interior (V-4, V-5 y V-6).	81
3.38	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta, Sección de 300 x 150 mm Claro Exterior (V-7, V-8 y V-9).	81
3.39	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta, Sección de 500 x 150 mm, Claro Exterior (V-10, V-11 y V-12).	81
3.40	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta, Sección de 300 x 150 mm, Apoyo Interior (V-7, V-8 y V-9).	82
3.41	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta, Sección de 500 x 150 mm, Apoyo Interior (V-10, V-11 y V-12).	82
3.42	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta, Sección de 300 x 150 mm, Claro Interior (V-7, V-8 y V-9).	82
3.43	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta, Sección de 500 x 150 mm, Claro Interior (V-10, V-11 y V-12).	82
3.44	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, Sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-1).	85
3.45	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, Sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-4).	85
3.46	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, Sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-7).	85
3.47	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, Sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-10).	85
3.48	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-1).	85

3.49	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-4).	85
3.50	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-7).	86
3.51	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-10).	86
C.1	Carga equivalente de los cables de presfuerzo y diagrama de momentos de viga típica de claros 2.4-2.4-2.4 m.	136
C.2	Carga equivalente de los cables de presfuerzo y diagrama de momentos de viga típica de claros 2.4-3.6-2.4 m.	136
F.1	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 100 a 1000 unidades (V-1).	175
F.2	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 1100 a 2000 unidades (V-1).	175
F.3	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 2100 a 2700 unidades (V-1).	175
F.4	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 100 a 1000 unidades (V-2).	176
F.5	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 1100 a 2000 unidades (V-2).	176
F.6	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 2100 a 3000 unidades (V-2).	176
F.7	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 3100 y 3200 unidades (V-2).	177
F.8	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 100 a 1000 unidades (V-3).	177
F.9	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 1100 a 2000 unidades (V-3).	177



F.10	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 2100 a 3000 unidades (V-3).	178
F.11	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 3100 a 3600 unidades (V-3).	178
F.12	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 100 a 1000 unidades (V-4).	178
F.13	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 1100 a 2000 unidades (V-4).	179
F.14	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 2100 a 2600 unidades (V-4).	179
F.15	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 100 a 1000 unidades (V-5).	179
F.16	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 1100 a 2000 unidades (V-5).	180
F.17	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 2100 a 3000 unidades (V-5).	180
F.18	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 3100 unidades (V-5).	180
F.19	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 100 a 1000 unidades (V-6).	181
F.20	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 1100 a 2000 unidades (V-6).	181
F.21	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 2100 a 3000 unidades (V-6).	181
F.22	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 3100 A 3600 unidades (V-6).	182
F.23	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 100 a 1000 unidades (V-7).	182

F.24	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 1100 a 2000 unidades (V-7).	182
F.25	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 2100 a 2300 unidades (V-7).	183
F.26	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 100 a 1000 unidades (V-8).	183
F.27	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 1100 a 2000 unidades (V-8).	183
F.28	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 2100 y 2200 unidades (V-8).	184
F.29	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 100 a 1000 unidades (V-9).	184
F.30	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 1100 a 2000 unidades (V-9)	184
F.31	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 2100 a 3000 unidades (V-9).	185
F.32	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 3100 unidades (V-9).	185
F.33	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 100 a 1000 unidades (V-10).	185
F.34	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 1100 a 2000 unidades (V-10).	186
F.35	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 2100 a 2300 unidades (V-10).	186
F.36	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 100 a 1000 unidades (V-11).	186
F.37	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 1100 a 2000 unidades (V-11).	187

F.38	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 2100 a 2600 unidades (V-11).	187
F.39	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 100 a 1000 unidades (V-12).	187
F.40	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 1100 a 2000 unidades (V-12).	188
F.41	Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 2100 a 3000 unidades (V-12).	188
G.1	Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Claro 1 (V-1, V-2 y V-3).	190
G.2	Gráfica Momento-Esfuerzos: acero de refuerzo, Claro 1 (V-1, V-2 y V-3).	190
G.3	Gráfica Momento-Esfuerzos en el concreto, Claro 1 (V-1, V-2 y V-3).	190
G.4	Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Apoyo 2 (V-1, V-2 y V-3).	191
G.5	Gráfica Momento-Esfuerzos: acero de refuerzo, Apoyo 2 (V-1, V-2 y V-3).	191
G.6	Gráfica Momento-Esfuerzos en el concreto, Apoyo 2 (V-1, V-2 y V-3).	191
G.7	Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Claro 2 (V-1, V-2 y V-3).	192
G.8	Gráfica Momento-Esfuerzos: acero de refuerzo, Claro 2 (V-1, V-2 y V-3).	192
G.9	Gráfica Momento-Esfuerzos en el concreto, Claro 2 (V-1, V-2 y V-3).	192
G.10	Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Claro 1 (V-4, V-5 y V-6).	193

G.11	Gráfica Momento-Esfuerzos: acero de refuerzo, Claro 1 (V-4, V-5 y V-6).	193
G.12	Gráfica Momento-Esfuerzos en el concreto, Claro 1 (V-4, V-5 y V-6).	193
G.13	Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Apoyo 2 (V-4, V-5 y V-6).	194
G.14	Gráfica Momento-Esfuerzos: acero de refuerzo, Apoyo 2 (V-4, V-5 y V-6).	194
G.15	Gráfica Momento-Esfuerzos en el concreto, Apoyo 2 (V-4, V-5 y V-6).	194
G.16	Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Claro 2 (V-4, V-5 y V-6).	195
G.17	Gráfica Momento-Esfuerzos: acero de refuerzo, Claro 2 (V-4, V-5 y V-6).	195
G.18	Gráfica Momento-Esfuerzos en el concreto, Claro 2 (V-4, V-5 y V-6).	195
G.19	Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Claro 1 (V-7, V-8 y V-9).	196
G.20	Gráfica Momento-Esfuerzos: acero de refuerzo, Claro 1 (V-7, V-8 y V-9).	196
G.21	Gráfica Momento-Esfuerzos en el concreto, Claro 1 (V-7, V-8 y V-9).	196
G.22	Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Apoyo 2 (V-7, V-8 y V-9).	197
G.23	Gráfica Momento-Esfuerzos: acero de refuerzo, Apoyo 2 (V-7, V-8 y V-9).	197
G.24	Gráfica Momento-Esfuerzos en el concreto, Apoyo 2 (V-7, V-8 y V-9).	197

G.25	Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Claro 2 (V-7, V-8 y V-9).	198
G.26	Gráfica Momento-Esfuerzos: acero de refuerzo, Claro 2 (V-7, V-8 y V-9).	198
G.27	Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Claro 2 (V-7, V-8 y V-9).	198
G.28	Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Claro 1 (V-10, V-11 y V-12).	199
G.29	Gráfica Momento-Esfuerzos: acero de refuerzo, Claro 1 (V-10, V-11 y V-12).	199
G.30	Gráfica Momento-Esfuerzos en el concreto, Claro 1 (V-10, V-11 y V-12).	199
G.31	Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Apoyo 2 (V-10, V-11 y V-12).	200
G.32	Gráfica Momento-Esfuerzos: acero de refuerzo, Apoyo 2 (V-10, V-11 y V-12).	200
G.33	Gráfica Momento-Esfuerzos en el concreto, Apoyo 2 (V-10, V-11 y V-12).	200
G.34	Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Claro 2 (V-10, V-11 y V-12).	201
G.35	Gráfica Momento-Esfuerzos: acero de refuerzo, Claro 2 (V-10, V-11 y V-12).	201
G.36	Gráfica Momento-Esfuerzos en el concreto, Claro 2 (V-10, V-11 y V-12).	201
G.37	Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Claro 3 (V-1, V-2 y V-3).	202
G.38	Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Claro 3 (V-4, V-5 y V-6).	202

G.39	Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Claro 3 (V-7, V-8 y V-9).	203
G.40	Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Claro 3 (V-10, V-11 y V-12).	203
H.1	Gráfica Momento-Curvatura vigas V-1, V-2 y V-3 Claro 1 (Sección 300 x 150 mm).	205
H.2	Gráfica Momento-Curvatura vigas V-1, V-2 y V-3 Claro 2 (Sección 300 x 150 mm).	205
H.3	Gráfica Momento-Curvatura vigas V-1, V-2 y V-3 Claro 3 (Sección 300 x 150 mm).	205
H.4	Gráfica Momento-Curvatura vigas V-4, V-5 y V-6 Claro 1 (Sección 500 x 150 mm).	206
H.5	Gráfica Momento-Curvatura vigas V-4, V-5 y V-6 Claro 2 (Sección 500 x 150 mm).	206
H.6	Gráfica Momento-Curvatura vigas V-4, V-5 y V-6 Claro 3 (Sección 500 x 150 mm).	206
H.7	Gráfica Momento-Curvatura vigas V-7, V-8 y V-9 Claro 1 (Sección 300 x 150 mm).	207
H.8	Gráfica Momento-Curvatura vigas V-7, V-8 y V-9 Claro 2 (Sección 300 x 150 mm).	207
H.9	Gráfica Momento-Curvatura vigas V-7, V-8 y V-9 Claro 3 (Sección 300 x 150 mm).	207
H.10	Gráfica Momento-Curvatura vigas V-10, V-11 y V-12 Claro 1 (Sección 500 x 150 mm).	208
H.11	Gráfica Momento-Curvatura vigas V-10, V-11 y V-12 Claro 2 (Sección 500 x 150 mm).	208
H.12	Gráfica Momento-Curvatura vigas V-10, V-11 y V-12 Claro 3 (Sección 500 x 150 mm).	208

J.1	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, Sección de 300 x 150 mm (V-1, V-2 y V-3).	223
J.2	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, Sección de 500 x 150 mm (V-4, V-5 y V-6).	223
J.3	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, Sección de 300 x 150 mm (V-1, V-2 y V-3).	223
J.4	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, Sección de 500 x 150 mm (V-4, V-5 y V-6).	223
J.5	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 3, Sección de 300 x 150 mm (V-1, V-2 y V-3).	223
J.6	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 3, Sección de 500 x 150 mm (V-4, V-5 y V-6).	223
J.7	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección de 300 x 150 mm (V-1, V-2 y V-3).	224
J.8	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección de 500 x 150 mm (V-4, V-5 y V-6).	224
J.9	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 3, Sección de 300 x 150 mm (V-1, V-2 y V-3).	224
J.10	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 3, Sección de 500 x 150 mm (V-4, V-5 y V-6).	224
J.11	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, Sección de 300 x 150 mm (V-7, V-8 y V-9).	224
J.12	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, Sección de 500 x 150 mm (V-10, V-11 y V-12).	224
J.13	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, Sección de 300 x 150 mm (V-7, V-8 y V-9).	225
J.14	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, Sección de 500 x 150 mm (V-10, V-11 y V-12).	225

J.15	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 3, Sección de 300 x 150 mm (V-7, V-8 y V-9).	225
J.16	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 3, Sección de 500 x 150 mm (V-10, V-11 y V-12).	225
J.17	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección de 300 x 150 mm (V-7, V-8 y V-9).	225
J.18	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección de 500 x 150 mm (V-10, V-11 y V-12).	225
J.19	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 3, Sección de 300 x 150 mm (V-7, V-8 y V-9).	226
J.20	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 3, Sección de 500 x 150 mm (V-10, V-11 y V-12).	226
K.1	Gráfica de Factor de Rigidez “ <i>FR</i> ” vs. Ancho de Grieta, Claro 1 (V-1, V-2 y V-3).	228
K.2	Gráfica de Factor de Rigidez “ <i>FR</i> ” vs. Ancho de Grieta, Claro 2 (V-1, V-2 y V-3).	228
K.3	Gráfica de Factor de Rigidez “ <i>FR</i> ” vs. Ancho de Grieta, Claro 3 (V-1, V-2 y V-3).	228
K.4	Gráfica de Factor de Rigidez “ <i>FR</i> ” vs. Ancho de Grieta, Claro 1 (V-4, V-5 y V-6).	229
K.5	Gráfica de Factor de Rigidez “ <i>FR</i> ” vs. Ancho de Grieta, Claro 2 (V-4, V-5 y V-6).	229
K.6	Gráfica de Factor de Rigidez “ <i>FR</i> ” vs. Ancho de Grieta, Claro 3 (V-4, V-5 y V-6).	229
K.7	Gráfica de Factor de Rigidez “ <i>FR</i> ” vs. Ancho de Grieta, Claro 1 (V-7, V-8 y V-9).	230
K.8	Gráfica de Factor de Rigidez “ <i>FR</i> ” vs. Ancho de Grieta, Claro 2 (V-7, V-8 y V-9).	230



K.9	Gráfica de Factor de Rigidez “ <i>FR</i> ” vs. Ancho de Grieta, Claro 3 (V-7, V-8 y V-9).	230
K.10	Gráfica de Factor de Rigidez “ <i>FR</i> ” vs. Ancho de Grieta, Claro 1 (V-10, V-11 y V-12).	231
K.11	Gráfica de Factor de Rigidez “ <i>FR</i> ” vs. Ancho de Grieta, Claro 2 (V-10, V-11 y V-12).	231
K.12	Gráfica de Factor de Rigidez “ <i>FR</i> ” vs. Ancho de Grieta, Claro 3 (V-10, V-11 y V-12).	231
L.1	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-1).	233
L.2	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-4).	233
L.3	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.65 (V-2).	233
L.4	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.65 (V-5).	233
L.5	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.55 (V-3).	233
L.6	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.55 (V-6).	233
L.7	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-1).	233
L.8	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-4).	234
L.9	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.65 (V-2).	234
L.10	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.65 (V-5).	234

L.11	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.55 (V-3).	234
L.12	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.55 (V-6).	234
L.13	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-1).	234
L.14	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-4).	235
L.15	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.65 (V-2).	235
L.16	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.65 (V-5).	235
L.17	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.55 (V-3).	235
L.18	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.55 (V-6).	235
L.19	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-7).	235
L.20	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-10).	236
L.21	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.65 (V-8).	236
L.22	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.65 (V-11).	236
L.23	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.55 (V-9).	236
L.24	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.55 (V-12).	236

L.25	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-7).	236
L.26	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-10).	237
L.27	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.65 (V-8).	237
L.28	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.65 (V-11).	237
L.29	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.55 (V-9).	237
L.30	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.55 (V-12).	237
L.31	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-7).	237
L.32	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-10).	238
L.33	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.65 (V-8).	238
L.34	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.65 (V-11).	238
L.35	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.55 (V-9).	238
L.36	Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.55 (V-12).	238

## NOMENCLATURA

$a$	= altura del bloque rectangular equivalente de esfuerzos a compresión
$A/C$	= relación agua-cementante
$A_b$	= área de tensión del refuerzo incluido en la sección transversal
$AP.$	= apoyo de un elemento
$A_{ps}$	= área de acero de presfuerzo
$A_s$	= área de acero de refuerzo convencional
$b$	= ancho de un elemento
$b_w$	= ancho del alma un elemento
$CL$	= claro de un elemento a flexión
$CPO40$	= cemento portland ordinario de clase resistente 40
$CR$	= pérdida de presfuerzo por fluencia
$cgc$	= centro de gravedad del concreto
$cgs$	= centro de gravedad del acero de presfuerzo
$d$	= distancia desde la fibra extrema en compresión hasta al centroide del acero de refuerzo longitudinal en tensión
$d_c$	= localización del centroide del acero de refuerzo desde la fibra en tensión
$d_p$	= distancia desde la fibra extrema en compresión hasta al centroide del acero de presfuerzo
$d_s$	= distancia desde la fibra extrema en compresión hasta al centroide del acero de refuerzo longitudinal en tensión
$E_c$	= módulo de elasticidad del concreto
$E_s$	= módulo de elasticidad del acero de refuerzo convencional

$E_{ps}$	= módulo de elasticidad del acero de presfuerzo
$EI$	= rigidez a la flexión de un elemento en función de su módulo de elasticidad y de la inercia de su sección transversal
$ES$	= pérdida de presfuerzo por acortamiento elástico.
$f_{ps}$	= esfuerzo en los cables de presfuerzo cuando se alcanza una deformación en el concreto de $\varepsilon_c = 0.003$
$f_{pu}$	= esfuerzo último de los cables de presfuerzo
$f_s$	= esfuerzo de trabajo del acero de refuerzo convencional
$f_{se}$	= esfuerzo inicial en los cables de acero de presfuerzo después de pérdidas totales
$f'_c$	= resistencia especificada a la compresión del concreto a los 28 días
$f'_{cr}$	= resistencia promedio a la compresión del concreto a los 28 días
$FR$	= factor de rigidez en función del módulo de elasticidad del concreto ( $E_c$ ) y de la inercia gruesa ( $I_g$ ).
$f_{cpa}$	= esfuerzo de compresión promedio en el concreto debido a la fuerza de presfuerzo a lo largo de la longitud del elemento a nivel del acero.
$f_y$	= esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo convencional
$h$	= peralte de un elemento
$h_f$	= espesor del patín de un elemento de sección "T"
$H.O.$	= humedad del agregado al momento del colado del concreto
$I_{cr}$	= momento de inercia de la sección transformada agrietada.
$I_e$	= momento de inercia efectivo
$I_g$	= momento de inercia gruesa de la sección transversal
$J$	= factor que toma en cuenta la disminución de pérdida por relajamiento del acero de presfuerzo debido a las deformaciones del concreto
$K$	= coeficiente de fricción por desviación accidental por metro, en cálculo de las pérdidas de presfuerzo
$K_{cr}$	= factor para el cálculo de la pérdida de presfuerzo por fluencia
$K_{re}$	= pérdida por relajamiento del acero de presfuerzo

$K_w$	= factor que se aplica a la determinación del ancho de grieta, es igual a 1.3 para zonas de momento positivo y a 2.2 para zonas de momento negativo.
$L_x$	= longitud del cable de presfuerzo en donde se requieren determinar las pérdidas por fricción
$M_a$	= momento actuante en la etapa que se quiere determinar la deflexión.
$M_{cr}$	= momento de agrietamiento
$M_n$	= momento nominal resistente a la flexión
$M^-$	= momento en la zona de momento negativo
$M^+$	= momento en la zona de momento positivo
$PPR$	= relación de presforzado parcial
$P_s$	= esfuerzo de los cables de presfuerzo en el extremo de tensado al final de la aplicación de la fuerza de presfuerzo
$P_x$	= esfuerzo de los cables de presfuerzo en la etapa de transferencia en el punto donde se quiere determinar las pérdidas por fricción
$RE$	= pérdida de presfuerzo por relajamiento del acero
$S$	= desviación estándar
$SH$	= pérdida de presfuerzo por contracción del concreto
$S_{grieta}$	= separación promedio de grietas en alguna zona de una viga
$w_{eq}$	= carga equivalente de los cables de presfuerzo
$w_{pp}$	= carga de peso propio
$\alpha$	= ángulo de desviación del cable de presfuerzo en radianes en el punto donde se quiere determinar las pérdidas por fricción
$\beta_1$	= factor que depende de la resistencia del concreto
$\gamma_p$	= factor que depende del tipo de acero de presfuerzo
$\Delta$	= Deflexión o contraflecha de un elemento a flexión
$\varepsilon_c$	= deformación unitaria en la fibra de compresión del concreto
$\varepsilon_{cr}$	= deformación unitaria en la fibra de tensión del concreto en instante del agrietamiento = $2\sqrt{f'_c}/E_c$
$\varepsilon_{ct}$	= deformación unitaria en la fibra de tensión del concreto

$\varepsilon_{ps}$	= deformación unitaria del acero de presfuerzo
$\varepsilon_s$	= deformación unitaria del acero de refuerzo convencional
$\varphi$	= factor de reducción de resistencia o curvatura de un elemento a flexión
$\mu$	= coeficiente de curvatura en el cálculo de las pérdidas por fricción
$\rho_p$	= porcentaje de acero de presfuerzo
$\rho$	= porcentaje de acero de refuerzo
$\omega$	= ancho de grieta en mm
$\omega_{\max}$	= ancho de grieta máximo
$\omega_p$	= índice de refuerzo del acero de presfuerzo
$\omega_s$	= índice de refuerzo del acero convencional

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUCCIÓN**

Al concepto original del diseño de los elementos de concreto presforzado que consiste en crear intencionalmente esfuerzos de compresión sin permitir esfuerzos de tensión bajo cargas de servicio y que considera al elemento estructural como un material elástico se le conoce como “Presforzado total”, sin embargo, las investigaciones han mostrado que estos elementos tienen aún mayor resistencia a la flexión al tomar en cuenta el acero de refuerzo convencional.

A este criterio de diseño, en el que se presentan esfuerzos de tensión en el concreto para la etapa de cargas de servicio, las cuales deben ser tomados con el acero convencional incluido adicionalmente y, además, su comportamiento deja de ser el de un material elástico, se le llama “Presforzado Parcial” (Lin et al., 1982).

Ambos procedimientos de diseño, bajo cargas factorizadas son muy similares y, la diferencia estaría en su comportamiento bajo cargas de servicio en donde los elementos parcialmente presforzados presentarán esfuerzos de tensión en algunas zonas que propiciarán agrietamientos y con esto la disminución de su rigidez relacionada con el incremento de las deflexiones dependiendo del porcentaje de cargas actuantes sobre el elemento.



## **1.1 Marco Teórico**

Actualmente, mediante la utilización de los criterios y disposiciones de diseño para elementos parcialmente presforzados, se puede asegurar su resistencia a la flexión garantizando un comportamiento dúctil aplicando factores de reducción y, adicionalmente, mediante algunas recomendaciones de los reglamentos de construcción, asegurar que algunos parámetros de diseño bajo cargas de servicio, satisfagan las limitaciones estipuladas en el caso de revisión de esfuerzos de compresión, anchos de grieta, deflexiones y efectos de fatiga.

Se puede considerar al concreto parcialmente presforzado, de forma unificada, como un enfoque de diseño y construcción en el que el acero de presfuerzo o la combinación de acero de presfuerzo y de acero de refuerzo convencional, se utilizan para que las tensiones y los agrietamientos en el concreto puedan presentarse bajo la aplicación de cargas muertas y vivas de trabajo siempre y cuando los requerimientos de resistencia por flexión y de servicio se satisfagan (ACI 435.5R, 1999).

La filosofía de diseño del presforzado parcial, realmente no es tan diferente a la del diseño de concreto reforzado convencional o a la del concreto presforzado total. El objetivo principal es proveer adecuada resistencia a la flexión y ductilidad bajo cargas factorizadas y cumplir satisfactoriamente con los estados límites de falla para la etapa de cargas de servicio.

Entre las ventajas más importantes de los elementos parcialmente presforzados se puede considerar el incremento de la ductilidad con la presencia del acero de refuerzo convencional, la capacidad de absorción de

energía y la disminución de la contraflecha principalmente cuando la carga muerta es relativamente más pequeña que la carga total.

Otra de las ventajas de estos elementos es lograr un mejor control de agrietamiento al incluir el acero convencional adherido y, con ello, también se tiene un ahorro en la cantidad de acero de presfuerzo y, en los trabajos de tensado y anclaje.

En este tipo de elementos se pueden presentar algunas desventajas, como la aparición temprana de agrietamientos, deflexiones mayores bajo sobrecargas y esfuerzos de tensión mayores bajo cargas de servicio, sin embargo, mediante su diseño apropiado, estas desventajas se pueden minimizar.

Es importante considerar los efectos de cargas repetitivas, principalmente con la presencia de agrietamientos, que pudieran provocar efectos de fatiga en los materiales involucrados para determinar la capacidad a la flexión.

La cantidad requerida de acero de presfuerzo dependerá del tipo de estructura y de las cargas a la que estará sujeta. En el caso de estructuras en las que se debe evitar la posibilidad de agrietamiento bajo cargas de servicio y donde las sobrecargas puedan ocurrir frecuentemente, se debe utilizar el presforzado total (curva “a” de la figura 1.1) y, para las estructuras en las que rara vez se sobrecargan, como en el caso de algunos edificios de oficinas y apartamentos, se recomienda utilizar el presforzado parcial (curva “b” de la figura 1.1) con lo que se lograría un ahorro en la cantidad de acero de presfuerzo y de refuerzo (Lin et al., 1982, Naaman, 1982).

Una vez que se establece este concepto de diseño, el presforzado parcial se puede obtener mediante alguna de las siguientes consideraciones:

- a) Usando una menor cantidad de acero de presfuerzo, lo cual ahorrará acero, pero disminuirá la resistencia a la flexión que es directamente proporcional a la cantidad de acero.

- b) Utilizando la misma cantidad de acero de presfuerzo, pero dejando cierta cantidad de acero no tensado con lo que se tendría una mayor ductilidad disminuyendo ligeramente su resistencia a la flexión.
- c) Mediante el uso de la misma cantidad de presfuerzo, pero tensado los cables a un nivel de fuerza más bajo, por lo que no se tendría ahorro en los anclajes.
- d) Usando una menor cantidad de acero de presfuerzo y agregando acero convencional con lo que se tendría una adecuada resistencia a la flexión con una mayor ductilidad.

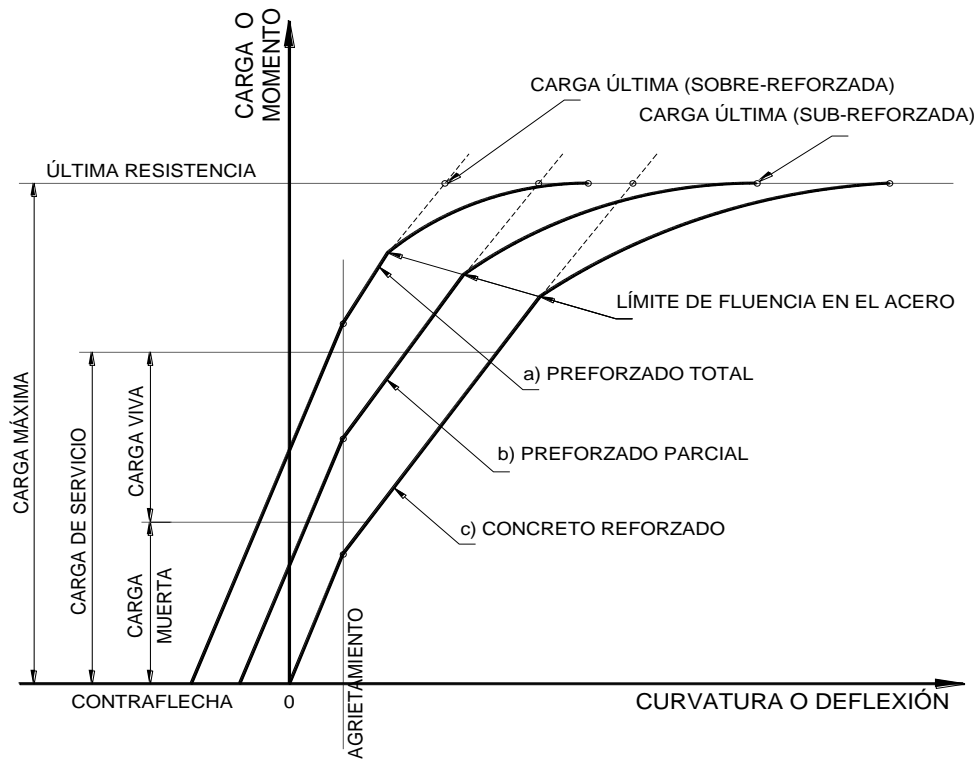


Figura 1.1. Curvas Carga-Deflexión para varios grados de presfuerzo.

Con cualquiera de los criterios anteriores, en los elementos de concreto parcialmente preforzado, el acero convencional estará sujeto a esfuerzos significativos de tensión hasta que el concreto se haya agrietado generándose una distribución uniforme de agrietamiento y evitando la formación de pocas pero anchas grietas. La resistencia a la flexión puede ser incrementada

apropiadamente utilizando este acero convencional pero tomando en cuenta las limitaciones recomendadas para la etapa de servicio.

### 1.1.1 Relación de presforzado parcial.

Se han utilizado los términos “Relación de Presforzado Parcial”, “Grado de Presfuerzo” o “Índice de Presfuerzo” para determinar la relación entre la resistencia a la flexión de un elemento de concreto presforzado proporcionada por el acero de presfuerzo entre la capacidad total de este mismo elemento, tomando en cuenta la cantidad del acero de presfuerzo y de acero convencional.

Algunos autores consideran que este término puede obtenerse solamente multiplicando el área de acero de presfuerzo por su resistencia a la fluencia entre la suma de las áreas del acero de presfuerzo y de refuerzo multiplicadas por sus límites de fluencia respectivos; sin embargo, la ecuación 1.1 (Naaman, 1982), que es más representativa, denominada “Relación de Presforzado Parcial (PPR)” involucra las resistencias a la flexión del elemento correspondientes a la capacidad de elemento solamente con acero de presfuerzo y la capacidad total:

$$PPR = \frac{\phi M_{n_{presfuerzo}}}{\phi M_{n_{presfuerzo}} + \phi M_{n_{refuerzo}}} \quad \dots (1.1)$$

donde;

$\phi M_{n_{presfuerzo}}$  = es el momento resistente a la flexión de la sección transversal considerando solamente el acero de presfuerzo y

$\varphi M_{n \text{ presfuerzo}} + \varphi M_{n \text{ refuerzo}} =$  es el momento resistente a la flexión de la sección transversal considerando el acero de presfuerzo y el acero convencional.

### 1.1.2 Cables no-adheridos

Los cables de acero de presfuerzo no adheridos (figura 1.2), generalmente están cubiertos por un lubricante dentro de un ducto de plástico que los protege contra la corrosión y al mismo tiempo impide que éstos tengan adherencia con el concreto. Este tipo de cables se consideran que son libres a deslizarse dentro del ducto, aunque existe una pequeña fuerza de fricción que no se toma en cuenta en el diseño y, con este criterio, en los elementos presforzados con cables no adheridos, la fuerza de presfuerzo se aplica axialmente desde sus extremos mediante dispositivos de anclaje (ACI-ASCE 423, 2001) y a lo largo de su longitud como fuerzas normales equivalentes conforme a la trayectoria de los cables (véase figura C1).



a) Cables no adheridos cubiertos con grasa dentro del ducto.



b) Cables fabricados de acuerdo a la longitud de la estructura.

Figura 1.2. Cables no adheridos.

Generalmente se utilizan cables no-adheridos en elementos de poco peralte como en el caso de losas en una o en dos direcciones (figura 1.3)

debido a que la cantidad de cables de presfuerzo requerida, se coloca uniformemente a lo ancho del elemento. En contraste, si se utilizarán cables adheridos, para este tipo de estructuras, se requeriría un gran trabajo de campo para la inyección de la lechada agua-cemento dentro de cada ducto de diámetro pequeño.

La diferencia entre los elementos con cables adheridos con respecto a los elementos con cables no-adheridos es que en el primer caso se considera una perfecta adherencia entre el acero de presfuerzo y el concreto y existe la compatibilidad de deformaciones unitarias y, en el segundo caso, los cambios de esfuerzos no siguen ese mismo comportamiento debido a que las deformaciones unitarias en el concreto y en el acero de presfuerzo difieren entre sí, por lo tanto, los esfuerzos en los cables no-adheridos se relacionan más bien con las deformaciones generales de la estructura y pudieran suponerse uniformes en todas las secciones hasta no contar con más investigación al respecto (ACI-ASCE 423, 2005).

Por lo tanto, para la determinación de los esfuerzos en los cables no-adheridos, es necesario tomar en cuenta algunos de los factores que influyen en su comportamiento como la resistencia a la compresión del concreto, la resistencia en el límite de fluencia del acero de presfuerzo y del acero convencional y, la relación de presforzado parcial, la relación claro-peralte, la trayectoria de los cables, el tipo de carga aplicada (concentradas, uniformemente distribuida, etc.), el patrón de distribución de la carga en elementos continuos (uniforme, en claros alternos, claros adyacentes, etc.) y las pérdidas de presfuerzo (Politalski W., 2008).

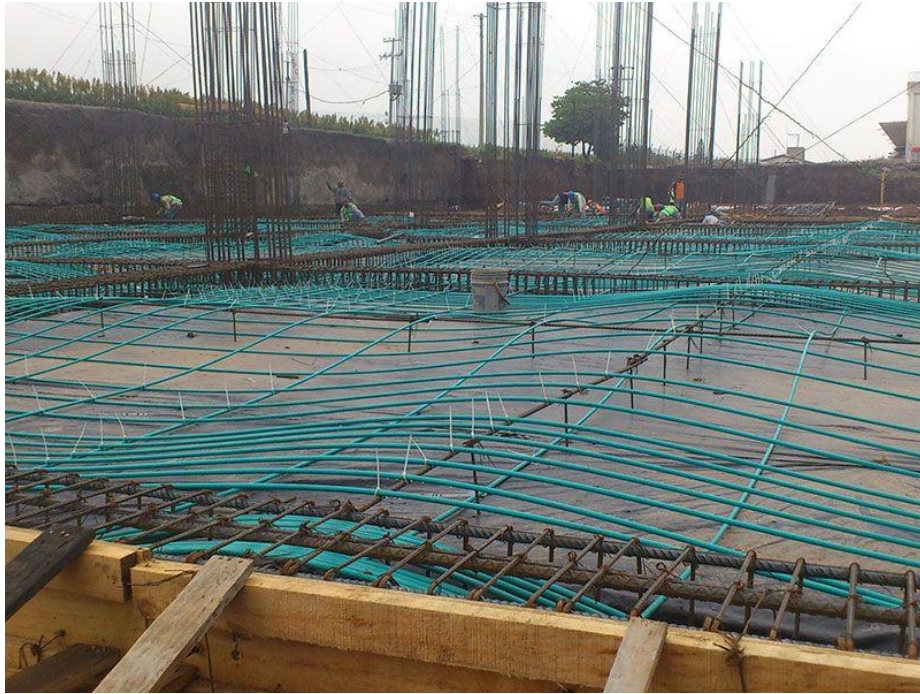


Figura 1.3. Construcción de losas en dos direcciones con cables no adheridos.

### 1.1.3 Continuidad de elementos presforzados.

La mayoría de los elementos de concreto presforzado se construyen simplemente apoyados para evitar el empleo de cimbras y el tensado de los cables en la obra y, si se desea darle continuidad a estos elementos, considerándolos como prefabricados, se requeriría un mayor costo y mayor trabajo en campo. En contraste, si se construyen elementos de concreto presforzado continuos (figura 1.4), de manera similar a la de los elementos de concreto reforzado, se puede obtener un gran ahorro económico en su construcción aprovechando sus ventajas por tener menores momentos actuantes, menos deflexiones y menor cantidad de anclajes.

Los elementos continuos también tienen algunas desventajas que se pueden contrarrestar tomándolas en cuenta en el diseño. Entre las desventajas de estos elementos se debe mencionar una mayor cantidad de pérdidas por

fricción y curvatura, cuyos efectos pudieran reducirse tensando desde ambos extremos; el acortamiento axial en elementos de gran longitud, que se puede involucrar al evaluar las deformaciones generales de la estructura y, la posibilidad de inversión de esfuerzos, en el caso de elementos con claros de longitudes diferentes.

También se deben considerar en el diseño los esfuerzos secundarios que están relacionados con las reacciones que se generan sobre los apoyos debido a la continuidad y a la trayectoria de los cables de presfuerzo (Nilson, 1982).

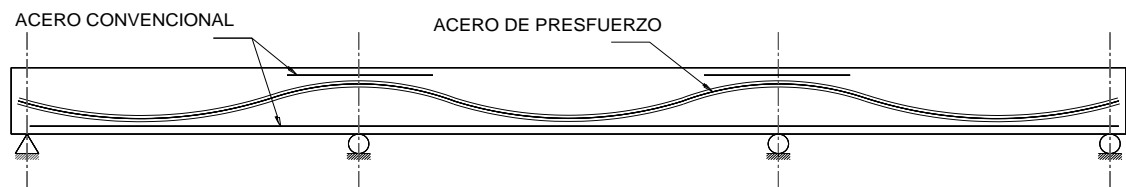


Figura 1.4. Arreglo típico de una viga parcialmente presforzada continua.

#### 1.1.4 Comportamiento a la flexión

Para el diseño de los elementos de concreto parcialmente presforzado, simplemente apoyados o continuos, se debe considerar los estados límite por resistencia a flexión, cortante y torsión incluyendo anclaje y adherencia y; también de manera muy importante, los estados límite de falla por servicio en los que se deben revisar los esfuerzos de tensión y compresión, los cambios de esfuerzos en el acero de presfuerzo, en el acero convencional y en el concreto, el ancho de grieta máximo, la contraflecha y las deflexiones y, cuando menos cualitativamente, el efecto del medio ambiente que puede producir corrosión en el acero de presfuerzo y en el acero convencional (Naaman, 1982, 1985).

Generalmente se considera que las “deformaciones unitarias (Lagrangiana)”, en una sección transversal de este tipo de elementos, varían de manera lineal (figura 1.5 y 1.6), por lo que se puede considerar un análisis de compatibilidad de deformaciones unitarias considerando que los cables de



presfuerzo no adheridos no siguen este mismo comportamiento, sin embargo, involucrando la fuerza de presfuerzo de estos cables dentro de una sección considerada se puede evaluar las deformaciones unitarias en el acero de refuerzo convencional adherido y en el concreto, considerando este mismo comportamiento lineal.

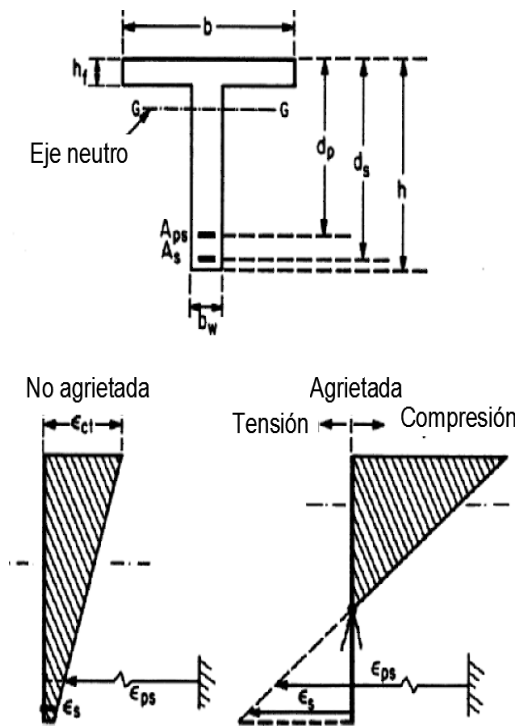


Figura 1.5. Comportamiento elástico-lineal, esfuerzos y deformaciones unitarias supuestas (Naaman, 1985).

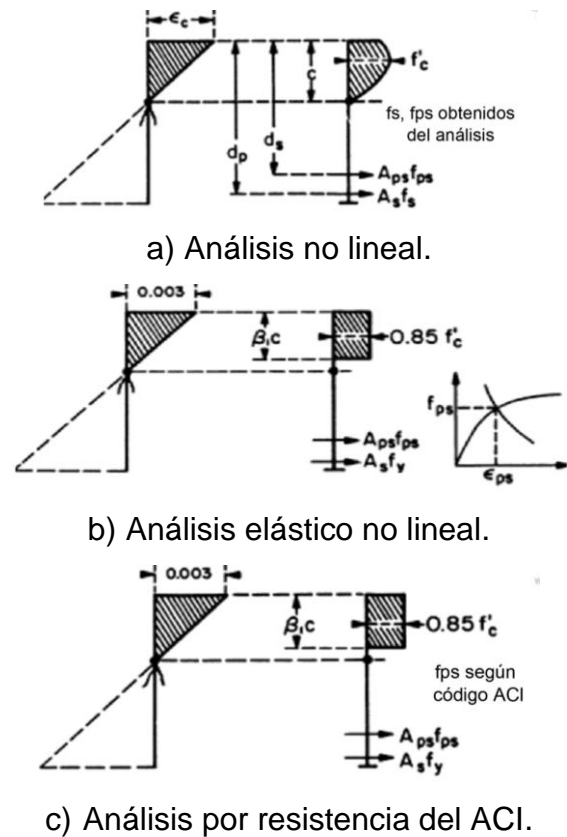


Figura 1.6. Fuerzas y deformaciones unitarias para una sección transversal (Naaman, 1985).

También, en estructuras que están sujetas a cargas repetitivas, la diferencia de los esfuerzos en el acero de presfuerzo, en el acero convencional y en el concreto, bajo la acción de las cargas pueden ocasionar una falla de

alguno de estos materiales por fatiga, por lo que se deben considerar parámetros de comparación admisibles para esta acción (Harajli et al., 1984).

La determinación de las deflexiones se realiza principalmente para los efectos combinados del presfuerzo y de la carga total de servicio, pero es importante revisar estas deflexiones para cada una de las etapas de carga (ACI-435-95, 2000). En elementos continuos debe tomarse en cuenta tanto el grado de agrietamiento en las zonas de momento negativo como en las zonas de momento positivo para evaluar las deflexiones (Nawy, 2006).

Para el caso de los elementos con cables no adheridos, los cambios de esfuerzos no siguen el mismo comportamiento con respecto a los elementos con cables adheridos (figura 1.7), debido a que las deformaciones unitarias en el concreto y en el acero de presfuerzo difieren entre sí, por lo tanto, los esfuerzos en los cables no adheridos, se relacionan más bien con las deformaciones de la estructura completa donde los esfuerzos axiales debido a la fuerza de presfuerzo pudieran suponerse uniformes en todas las secciones (ACI-ASCE 423, 2005) y, adicionalmente, se consideran los esfuerzos debidos a la carga equivalente del presfuerzo conforme a la curvatura de los cables.

#### **1.1.4.1 Comportamiento bajo cargas de servicio**

En elementos de concreto parcialmente presforzado, se debe garantizar el adecuado funcionamiento de la estructura bajo cargas de servicio cumpliendo satisfactoriamente con los estados límite de falla que se mencionan a continuación:

- a) Esfuerzos actuantes de tensión y compresión.** Para la etapa de servicio se deben revisar los esfuerzos actuantes con respecto a los valores admisibles de tensión y de compresión de los códigos vigentes (ACI-318, 2014); sin embargo, los esfuerzos de tensión pueden sobrepasar dichos límites para el caso de los elementos de concreto parcialmente presforzado

siempre que el ancho de grieta y las deflexiones que se presenten estén por debajo de su valor máximo permisible.

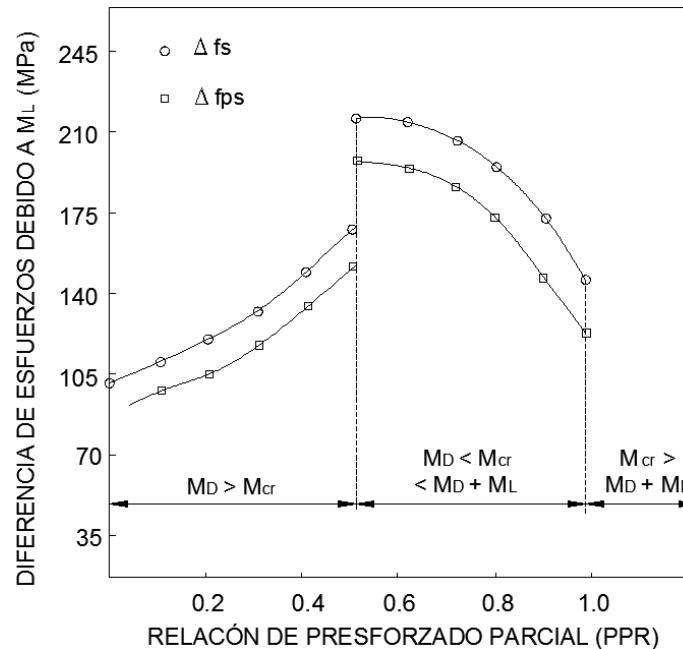


Figura 1.7. Rangos de esfuerzos típicos en el acero de presfuerzo para diferentes niveles de presfuerzo en elementos con cables adheridos (Naaman, 1982).

**b) Ancho de grieta.** El incremento de los valores de tensión en elementos de concreto parcialmente presforzado, genera un aumento del grado de agrietamiento, por lo que es muy importante evaluar y controlar los anchos de grieta y su espaciamiento (ACI-224, 2001). Los estudios para evaluar estos criterios son limitados debido a que existen diferentes factores que afectan el desarrollo del agrietamiento de los elementos de concreto presforzado.

Algunas investigaciones (Nawy et al., 1977) mencionan que el principal parámetro para controlar el agrietamiento es la determinación del cambio de esfuerzos en el acero convencional después de la etapa de descompresión.

**c) Deflexiones.** Los elementos presforzados son generalmente más esbeltos que los de concreto reforzado debido al uso de materiales de mayor resistencia y claros mayores. La determinación de las deflexiones se realiza principalmente para la combinación de los efectos de la fuerza de presfuerzo y de toda la carga de servicio, pero también es importante revisar las deflexiones para cada una de las etapas de carga (ACI-435R, 1995).

Para el caso de los elementos presforzados totalmente, se utilizan las propiedades de la sección transversal de un material elástico en los que la contraflecha pudiera ser excesiva y podría seguir incrementándose con el transcurso del tiempo debido al flujo plástico del concreto. Para los elementos parcialmente presforzados, las propiedades de inercia se reducirán debido al grado de agrietamiento de estos elementos, por lo que la determinación de las deflexiones dependerá de esta consideración.

Si el inicio del agrietamiento se considera para un 50 % de la carga viva aplicada, el ancho de grieta y la curvatura se presentarán de manera similar a la que se muestra en la figura 1.8 y, esta variación dependerá del grado de presfuerzo y del esfuerzo de tensión en el concreto que produce el agrietamiento (Naaman, 1982).

En elementos continuos también se presenta una situación similar y debe tomarse en cuenta tanto el grado de agrietamiento en las zonas de momento negativo como en las zonas de momento positivo para evaluar las deflexiones y los anchos de grieta (Nawy, 2006).

**d) Fatiga.** La resistencia a la fatiga de un elemento de concreto presforzado depende de la magnitud de la variación de los esfuerzos en los materiales que forman al elemento estructural, del número de ciclos de aplicación de carga y, de los niveles máximos de esfuerzos. Bajo estas circunstancias el elemento presentará deterioro en la adherencia del refuerzo, aumento en los anchos de grieta y en las deflexiones.

Para los elementos de concreto parcialmente presforzado, en la mayoría de los casos, el efecto de la fatiga disminuye debido a que la proporción entre la carga muerta y carga total aumenta, al considerar claros mayores como lo es, en general, para este tipo de estructuras.

Existen expresiones para evaluar los efectos de la fatiga de elementos de concreto parcialmente presforzado obtenidas de diferentes investigaciones (Zeng, D. et. al., 2014, ACI-ASCE 423 -2005).

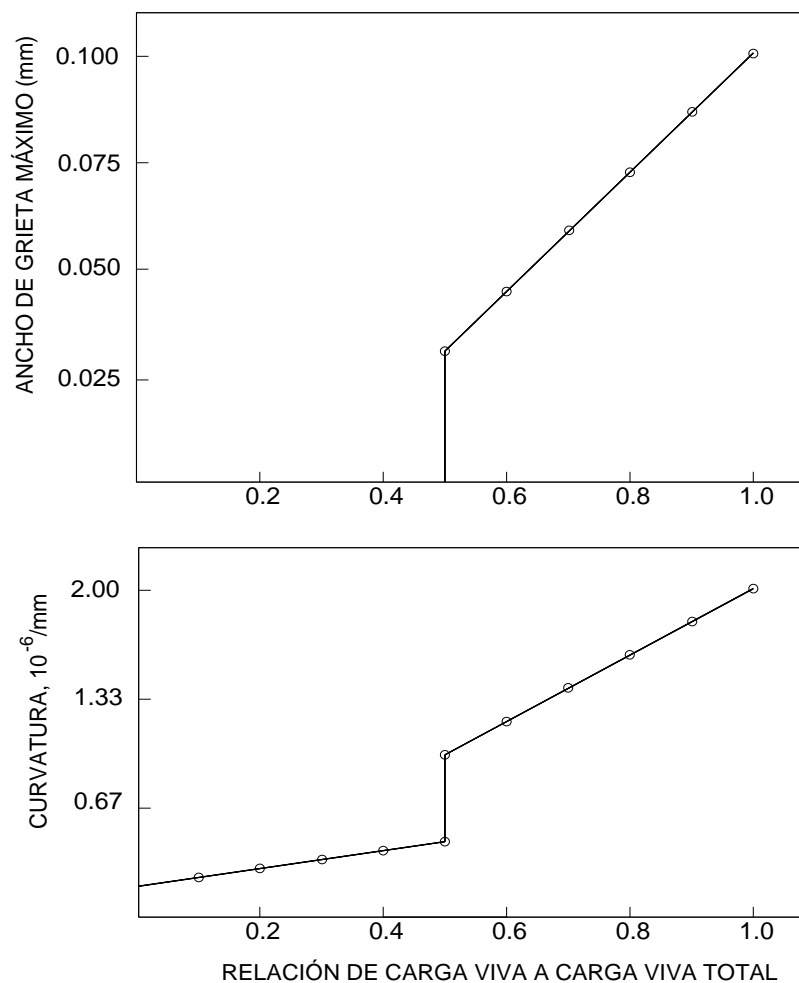


Figura 1.8. Variación del ancho de grieta y de la curvatura conforme a la aplicación de la carga viva (Naaman, 1982).

## **1.2 Antecedentes**

En los últimos años se han utilizado con mayor frecuencia las estructuras continuas post-tensadas con cables no-adheridos con el propósito de cubrir grandes claros y reducir los costos, por lo que también ha sido necesario tener un mejor control de calidad en la construcción de este tipo de elementos.

Se pueden mencionar algunos documentos normativos o recomendaciones específicas para el diseño y construcción de estructuras presforzadas (ACI-318, AASHTO 2012, Naaman A. et al., 2002, 1991), pero todavía es necesario seguir investigando debido a que no existe suficiente normatividad y recomendaciones que respalden adecuadamente el diseño de elementos presforzados continuos con cables no-adheridos (Rocha L., 2008).

Las investigaciones que se siguen desarrollando se refieren al comportamiento estructural de este tipo de elementos continuos con respecto a la revisión de los estados límite máximos y de servicio, aunque la mayoría de los estudios realizados se han enfocado a la determinación de la resistencia a la flexión.

En una de las investigaciones que se desarrolló hace algunos años, mediante un trabajo experimental y analítico en elementos presforzados y parcialmente presforzados, se llegó a la conclusión de que el comportamiento de los elementos parcialmente presforzados resulta similar al comportamiento de los elementos de concreto reforzado (Naaman A. et al., 1986) lo cual se ha tomado en cuenta como una recomendación para el estudio de dichos elementos.

Entre algunos de los estudios que se relacionan con el comportamiento de este tipo de elementos, bajo cargas de servicio, se han desarrollado investigaciones (Nawy et al., 1977) para la predicción del agrietamiento y de las deflexiones en vigas pretensadas en el que se propuso un modelo matemático para estimar el ancho de grieta que se correlacionó con las deflexiones obtenidas, las cuales se compararon con las deflexiones calculadas con fórmulas teóricas de otras investigaciones (Branson et. al., 1977, 1982). En las conclusiones que se obtuvieron se menciona que el espaciamiento entre grietas se estabiliza alrededor del 50 y 70 % de la carga última; la presencia de acero no presforzado tiene un efecto significativo en el control del agrietamiento debido a que se tiene una distribución más uniforme de las grietas con anchos menores y las deflexiones son más pequeñas comparado con elementos similares sin acero convencional. Sin embargo, en este estudio, se contempló solamente elementos pretensados con cables adheridos.

También se desarrolló una investigación experimental y analítica (Harajli, M. H. et. al., 1992) con elementos presforzados con cables adheridos y no adheridos en la que se compararon las expresiones propuestas con la literatura técnica para la predicción de las deflexiones para cargas de servicio tomando en cuenta parámetros como la relación de presforzado parcial, la relación claro-peralte y el tipo de carga.

Otra investigación (Ozkul, O. et. al. 2005), presenta un procedimiento para calcular las deflexiones basado en la analogía de la armadura considerando que los cables no adheridos forman parte de un modelo analítico cuyos resultados fueron comparados con la información obtenida de vigas ensayadas hasta la falla.

También existen estudios paramétricos (Du J. et. al., 2008) relacionados con el comportamiento dúctil los elementos de concreto presforzado, que toman en cuenta los esfuerzos de los materiales considerando variables como el tipo de carga, la relación claro-peralte, la relación de presforzado parcial y la

resistencia a la compresión del concreto. En este estudio se analizaron solamente elementos simplemente apoyados y, se concluye que el factor de ductilidad por curvatura, para elementos presforzados con cables no adheridos, disminuye con el incremento del índice de refuerzo combinado y, éste es más alto con respecto al de los elementos con cables adheridos.

En otro de los estudios que se realizaron para la determinación de las deflexiones en elementos presforzados simplemente apoyados con cables adheridos (Tadros M., 1985), se propusieron ajustes en las ecuaciones clásicas para la determinación de la inercia efectiva considerando los efectos a largo plazo y la presencia del acero convencional y, de alguna manera, estas mismas ecuaciones, se podrían considerar para la evaluación de las deflexiones en elementos continuos con cables no adheridos.

En algunas investigaciones recientes (Gribniak V. et al., 2014), también se han propuesto modificaciones a las expresiones del código ACI-318 para la determinación de las deflexiones en elementos de concreto reforzado para tomar en cuenta el agrietamiento, la contracción por secado y los efectos a largo plazo.

En el caso de las deflexiones a corto plazo, influye significativamente el porcentaje de acero convencional  $\rho$  (Gribniak V. et al., 2013) y es evidente que para elementos parcialmente presforzados también pueda influir la cantidad de acero convencional incluido en el elemento involucrado en la Relación de Presforzado Parcial.

Otros estudios analíticos (Sato, R. et. al., 2013) involucran también la determinación de las deflexiones a largo plazo considerando el efecto de la fluencia y la contracción en elementos agrietados y no agrietados, suponiendo una distribución lineal de deformaciones unitarias en la sección transversal considerada con resultados que concuerdan con los valores observados experimentalmente.



Con respecto a los agrietamientos que se presentan en elementos de concreto presforzado, también existen pocas investigaciones. Uno de estos estudios se realizó estadísticamente (Suri et al, 1986) con algunos resultados de publicaciones anteriores, para estimar el ancho de grieta en vigas con cables adheridos y con acero de refuerzo convencional. En este estudio se encontró que la ecuación de Gergely-Luts (Gergely et al, 1968) puede ser utilizada para predecir este ancho de grieta con ligeras modificaciones, la cual involucra un factor que depende del tipo de combinaciones posibles de acero de presfuerzo (cables o alambres adheridos o no-adheridos) con acero de refuerzo convencional o con cables de presfuerzo adheridos no tensados. Debido a la pequeña cantidad de ensayos realizados y de los parámetros experimentales limitados, se recomendó utilizar los resultados de esta investigación con precaución utilizando una estimación de un 25 % mayor que la ecuación de predicción del ancho de grieta propuesta, además de limitar aún más los valores de los agrietamientos permisibles.

En otros estudios analíticos (DeStefano R. et. al. 2003, Harajli 2011, 2006, Debernardi P. G. et. al., 2013), simplemente se han propuesto adecuaciones a las expresiones de los códigos de diseño y construcción (ACI-318, CEB-FIP, 2012) para aplicarse también como recomendaciones en las especificaciones de diseño y revisión de puentes (AASHTO, 2012), con algunas modificaciones para tomar en cuenta la diferencia entre este tipo de estructuras y los edificios.

Se han realizado estudios experimentales similares en losas de concreto reforzado en dos direcciones (Marzouk H., et. al., 2010) en donde se utiliza un modelo numérico para estimar el ancho de grieta concluyendo que la relación entre las deformaciones en el acero y el ancho de grieta es lineal y depende del recubrimiento del concreto y, además se menciona que este ancho de grieta estimado numéricamente, es menor que el determinado experimentalmente.

También se investigó (Chowdhury S., 1999) sobre el agrietamiento de los elementos de concreto reforzado continuos y sobre el agrietamiento de elementos presforzados simplemente apoyados generando una ecuación para estimar el ancho de grieta. Entre las conclusiones de esta investigación sobre el agrietamiento, se menciona que el ancho de grieta y su separación, se van incrementando hasta llegar a un nivel de carga entre el 60 y 70 % con relación a la carga última y después de esta carga solo se va incrementando el ancho de grieta sin la aparición de nuevas grietas. La ecuación mencionada se puede aplicar a elementos de concreto reforzado continuos pero no sería aplicable a elementos presforzados continuos hasta no contar con datos experimentales suficientes que respalden esta ecuación.

Otra investigación (Chern J., 1992) se realizó para determinar la deformación con relación al agrietamiento de vigas de concreto parcialmente presforzadas en donde se tomó en cuenta la plasticidad del acero, el comportamiento no lineal del concreto a compresión y la deformación del concreto en la zona de tensión. Este último concepto es significativo solamente después del inicio del agrietamiento y posteriormente se nulifica bajo el estado de cargas últimas. En este estudio se realizaron comparaciones tomando en cuenta la inercia efectiva ( $I_e$ ) del método propuesto por Branson y Trost (ACI-435, 1995) mencionándose que la diferencia entre las deflexiones determinadas en vigas con cables adheridos y con cables no-adheridos, es relativamente pequeña con respecto a los cálculos y a los experimentos, aunque generalmente estas fórmulas de predicción dan valores un poco menores que los medidos y, para el caso de cargas últimas, este método sería inapropiado.

Con otros estudios paramétricos (Harajli, et al., 1989) se han propuesto expresiones que predicen las deflexiones con mayor exactitud en elementos de concreto parcialmente presforzado mediante modelos de deslizamiento-deflexión considerando el mismo comportamiento bilineal propuesto por

Branson para la determinación de la inercia efectiva. En estos estudios no se realizaron ensayos en elementos continuos.

En otra investigación (Hayashi, et al., 1995) se determinaron las características de desempeño carga–desplazamiento de elementos parcialmente presforzados, en los que la variable fue el porcentaje de resistencia a la flexión proporcionada por el acero convencional. Lo que se reporta como conclusión de este trabajo es el desempeño dúctil con nula degradación de resistencia de todos los modelos, desde el presforzado hasta el parcialmente presforzado con el 50% de la resistencia a la flexión proporcionada por el acero convencional.

En un estudio realizado en la Universidad Tecnológica de Cracow (Politalski W., 2008) también se determinó que el esfuerzo de los cables de presfuerzo no-adheridos depende de muchas variables, sin embargo, en la etapa de cargas últimas, este estudio demostró que la resistencia a la flexión en elementos con cables no-adheridos es en promedio un 25 % mayor que la capacidad determinada con las fórmulas especificadas en los reglamentos de construcción. El incremento de los esfuerzos de los cables no-adheridos en elementos post-tensados, no se reconoce totalmente, por lo que también se sugiere realizar estudios adicionales teóricos y experimentales para demostrar dicho incremento. No obstante, tampoco se mencionan pruebas en elementos continuos.

A pesar de los estudios mencionados que se refieren al comportamiento de los elementos presforzados con cables adheridos o no adheridos bajo cargas de servicio, en general, la mayoría de las investigaciones de este tipo de elementos se han enfocado a definir o a modificar las expresiones para determinar la resistencia a la flexión (Mattock, 1971, 1984, Tam, A. et. al. 1976, Campbell, T. I. et. al. 1991, Chakrabarti P., 1995, Chakrabarti P. et. al., 1994, Au F. et. al., 2004, Hussien O.F., et. al 2012), involucrando principalmente la

determinación de los esfuerzos que se presentan en el acero de presfuerzo para esta etapa de resistencia.

Algunos de estos estudios (Allouche et al., 1998), concluyen que las ecuaciones del reglamento del Instituto Americano del Concreto ACI-318 para predecir los esfuerzos en los cables de presfuerzo para la etapa de resistencia a la flexión, tienen una pobre correlación con las pruebas experimentales e incluso en algunos casos pueden ser no conservadoras. También se indica, en esta investigación, que se carece de datos experimentales para vigas y losas continuas y, adicionalmente, se refieren al comportamiento de estos elementos, con respecto a los estados límite de falla de servicio, pero no se hace énfasis en la determinación de las deflexiones y de los agrietamientos.

A su vez, en otras publicaciones (Du, G. et al., 1985, Harajli M. et al., 1991, Allouche E. et al., 1999, Alkhairi, F. et. al. 1993, Harajli M., 2006, Au F. et. al., 2005, Ozkul, O. et. al., 2008, Zheng. et. al., 2010), se han realizado estudios paramétricos en las que se han propuesto modificaciones a las fórmulas para determinar el esfuerzo último de los cables de presfuerzo adheridos y no-adheridos involucrando parámetros que identifican las características de los elementos post-tensados y proponiendo modelos numéricos comparados con los resultados de pruebas realizadas por otros investigadores llegando a la conclusión de que la predicción de los esfuerzos en los cables con estos modelos concuerdan con los datos de prueba disponibles.

En otro estudio (Yang K. et al., 2011), utilizando un análisis bi-dimensional no lineal se concluye que las ecuaciones del ACI-318 para cables no adheridos son conservadoras y las del código AASHTO no lo son. Otra de las investigaciones (Diep B. et al., 2006), también concluye que las fórmulas para predecir los esfuerzos del acero de presfuerzo en elementos con cables no adheridos, en la etapa de cargas últimas, especificadas por los códigos y por algunos investigadores, son conservadoras y que la ecuación propuesta en este

estudio tiene una gran precisión y correlación con respecto a los valores determinados experimentalmente.

También existen otras investigaciones (Ghallab A., 2013, He, Z. et. al., 2010, Lou, T. et. al., 2012, 2013) en las que se proponen modelos matemáticos para estimar el comportamiento a la flexión de los elementos parcialmente presforzados interna o externamente. En uno de estos modelos (Kim K. S. et. al., 2012), se representa el comportamiento a la flexión de estos elementos presforzados con cables no adheridos tomando en cuenta diferentes patrones de carga mencionando que existe una buena estimación en la evaluación de las deflexiones para la etapa de servicio y para la etapa de resistencia a la flexión.

Otra de estas investigaciones (Karayannis C. G. et. al., 2013), se basa en un modelo matemático que involucra específicamente el control del agrietamiento con los anchos de grieta permisibles de acuerdo a los códigos vigentes, mediante la derivación del bloque de compresiones usando una ecuación cúbica y las deformaciones unitarias en el acero de presfuerzo. Otro estudio (Vu N. A. et. al., 2010), que contempla cable no adheridos, considera un modelo de análisis no lineal con elementos finitos para cargas de servicio, antes y después del agrietamiento y, también, para la carga máxima resistente a la flexión. Este modelo involucra una inercia promedio homogénea y la fuerza de presfuerzo a lo largo de su longitud y se menciona que se obtiene una buena predicción de la rigidez a la flexión, de la capacidad de carga y de las deflexiones.

En otras publicaciones recientes (Harajli, 2012), se sigue proponiendo la modificación de las ecuaciones de resistencia del acero de presfuerzo ( $f_{ps}$ ) del reglamento ACI-318 para elementos continuos con cables no adheridos considerando un análisis plástico utilizando el concepto de mecanismos de colapso y un enfoque de compatibilidad de deformaciones unitarias obteniéndose expresiones de diseño más precisas basadas en datos

experimentales y en otras expresiones teóricas. Sin embargo, en este estudio, no se incluye el comportamiento de estos elementos presforzados bajo cargas de servicio.

Otra de las investigaciones recientes (Kim K. et. al., 2012), sobre el comportamiento de los elementos presforzados continuos con cables no adheridos para la etapa de servicio y para la predicción de la resistencia a la flexión, presenta un método de análisis no lineal en donde se toma en cuenta la redistribución de momentos. El modelo propuesto fue comparado con los resultados de ensayos en los que se incluyó variables como la trayectoria de los cables, la sección transversal, la cantidad de acero convencional y la aplicación de presforzado interior y exterior.

En uno de los últimos estudios que se ha realizado (Zhou W. et. al., 2014), también se proponen adaptaciones a las ecuaciones del ACI-318 en el que a través de un modelo de predicción derivado del equilibrio a la flexión comparado con datos experimentales, se plantean expresiones que predicen con mayor exactitud el esfuerzo último de los cables para vigas continuas con cables no adheridos. Las variables que se involucran son el índice de refuerzo, la relación claro-peralte y la capacidad de rotación en las zonas de articulaciones plásticas. También se introduce un coeficiente de reducción efectivo que relaciona el incremento del esfuerzo de los cables con el incremento del esfuerzo del acero convencional y se involucra en la determinación del esfuerzo de los cables para diferentes etapas de carga.

En general, la mayoría de las investigaciones mencionadas, se han enfocado al estudio de los elementos simplemente apoyados con cables adheridos y, en contraste, existen pocos estudios experimentales y analíticos que se relacionen con los elementos continuos parcialmente presforzados con cables no adheridos para los que se han propuesto ecuaciones empíricas y matemáticas que indican tener una buena predicción para la determinación de las deflexiones, de los anchos de grieta y de la resistencia a la flexión, sin

embargo, también existen otros estudios, para la obtención de estos mismos parámetros, en los que se menciona que estos parámetros pueden ser conservadores y en otros casos puede ser que no lo sean. Por lo anterior es necesario seguir investigando con respecto a este tipo de elementos para lograr una mayor precisión en la estimación de los parámetros de diseño.

### **1.3 Planteamiento del Problema**

En la actualidad existe poca investigación acerca del comportamiento estructural de los elementos continuos de concreto parcialmente presforzados con cables no adheridos, principalmente en lo que se refiere a los parámetros de revisión estructural para la etapa de servicio como son el agrietamiento y las deflexiones. La mayoría de los estudios para este tipo de elementos se han enfocado a la determinación de la resistencia a la flexión.

En esta investigación se realizaron estudios en vigas continuas parcialmente presforzadas con cables no adheridos para evaluar su comportamiento a la flexión desde el inicio de aplicación de cargas de servicio hasta alcanzar su resistencia a la flexión, investigando principalmente el grado de agrietamiento y su influencia sobre las deflexiones lo cual se considera indispensable para la revisión estructural de estos elementos que deben cumplir satisfactoriamente con los parámetros límite de falla de servicio.

## **1.4 Importancia de la investigación**

A pesar de las investigaciones que se han realizado, es necesario realizar más estudios experimentales para generar un conocimiento más preciso sobre los elementos continuos de concreto parcialmente presforzado con cables no-adheridos principalmente para la determinación de las deflexiones y de los anchos de grieta. Por lo que la presente investigación se realizó con el objetivo de determinar la relación entre el grado de agrietamiento en las zonas de momento negativo y positivo y las deflexiones tomando en cuenta la relación entre los claros adyacentes, la magnitud de las cargas y la relación de presforzado parcial, lo cual influye en la pérdida de rigidez de la sección transversal y consecuentemente sobre las deflexiones.

Para evaluar el comportamiento a la flexión, como parte de esta investigación, se determinaron los anchos de grieta en las zonas de momento positivo y negativo correlacionándola con los esfuerzos y deformaciones unitarias de los cables de presfuerzo y del acero convencional en las zonas de tensión y, del concreto en las zonas de compresión para las diferentes etapas de carga, incluyendo la etapa de transferencia del presfuerzo, la aplicación de un par de cargas puntuales en cada claro desde un valor cero hasta la carga máxima de falla correspondiente a su resistencia a la flexión y, también, se midieron las deflexiones al centro de cada claro relacionándolas con el grado de agrietamiento.

Con los resultados de esta investigación experimental, se proponen expresiones que consideran el grado de agrietamiento de las vigas continuas de concreto parcialmente presforzado con cables no adheridos, en las zonas de momento positivo y negativo, involucrando la pérdida de rigidez a la flexión que



se relaciona cuantitativamente con las deflexiones a corto plazo al centro de los claros de estas vigas.

## **1.5 Hipótesis**

Para elementos continuos de concreto parcialmente presforzado con cables no adheridos, el grado de agrietamiento en las zonas de momentos negativo y positivo, depende de la relación de los claros adyacentes, de la magnitud de las cargas y de la relación de presforzado parcial, lo que origina diferentes niveles de pérdida de rigidez para cada sección del elemento a lo largo de su longitud y genera un incremento en las deflexiones que se presentan al centro de cada claro.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo General**

Determinar experimentalmente el comportamiento de vigas continuas parcialmente presforzadas con cables no adheridos, relacionando el grado de agrietamiento de las zonas de momento negativo y positivo con las deflexiones que se presentan a los centros de cada claro, tomando en cuenta la magnitud de las cargas, la relación de presforzado parcial y la longitud de los claros adyacentes.

### **1.6.2 Objetivos Particulares.**

- a) Medir el ancho de grieta en las zonas de momento negativo y positivo relacionándolo con las deformaciones unitarias de los cables de presfuerzo, del acero convencional en las zonas de tensión y del concreto en las zonas de compresión, para diferentes etapas de carga.
- b) Determinar las deflexiones al centro de cada claro de las vigas continuas relacionándolas con el grado de agrietamiento para diferentes etapas de carga.
- c) Determinar las deformaciones unitarias del acero convencional, de los cables de presfuerzo y del concreto, para precisar la variación de estas deformaciones unitarias en las diferentes zonas de momento negativo y positivo de las vigas, en cada una de las etapas de carga consideradas.
- d) Correlacionar teóricamente el grado de agrietamiento, la pérdida de rigidez, las deflexiones y las deformaciones unitarias en el acero de presfuerzo, en el acero convencional y en el concreto para las diferentes etapas de carga.
- e) Determinar la resistencia a la flexión de las vigas de prueba relacionándola con la resistencia a la tensión de los cables de presfuerzo para la etapa de carga de falla de los elementos ensayados.

## **CAPÍTULO 2**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **2.1 Introducción**

Para la elección de las vigas de prueba se tomaron en cuenta las variables que influyen en el comportamiento a la flexión de los elementos continuos de concreto parcialmente presforzado. Estas variables involucran la relación entre la longitud de los claros continuos, la sección transversal y la relación de presforzado parcial (PPR). Se analizó la influencia de estas variables en el comportamiento a la flexión, en la reducción de su rigidez debido al agrietamiento y su influencia sobre las deflexiones considerando un par de cargas concentradas en cada uno de los claros para inducir altos niveles de esfuerzos que generaron agrietamientos y deformaciones a lo largo de las vigas en las zonas de momento positivo y negativo y, deflexiones al centro del claro.

#### **2.2 Desarrollo de la Investigación**

Se realizó un estudio preliminar de los parámetros que pudieran influir en el comportamiento estructural de los elementos de concreto parcialmente

presforzados con cables no adheridos siguiendo algunos criterios previamente establecidos para elementos estructurales similares.

Las actividades que se realizaron para llevar a cabo esta investigación son las siguientes:

1. Propuesta de las propiedades de los materiales, de las características geométricas de la sección transversal y de la cantidad de acero de presfuerzo y de acero de refuerzo convencional para la fabricación de las vigas de este proyecto de investigación, con base en variables como la continuidad de los claros, las longitudes de cada claro, la forma y las dimensiones de la sección transversal y, la cantidad de varillas de acero convencional y de cables de acero de presfuerzo para tomar en cuenta diferentes relaciones de presforzado parcial.
2. Análisis y diseño estructural teórico de 12 vigas continuas de concreto presforzado, las cuales fueron ensayadas en el laboratorio, para la determinación del grado de agrietamiento y de las deflexiones para diferentes etapas de cargas, incluyendo la resistencia a la flexión.
3. Evaluación de la resistencia a la compresión axial del concreto propuesto para la fabricación de las vigas, mediante pruebas de laboratorio de acuerdo a las normas correspondientes.
4. Fabricación de 24 vigas de concreto presforzado (2 series de 12 vigas) considerando dos tipos de secciones transversales, dos longitudes de claros y tres diferentes relaciones de presforzado parcial, incluyendo el tensado de los cables de presfuerzo.
5. Ensaye de las 24 vigas de esta investigación incluyendo la adquisición de los datos experimentales tales como el grado de agrietamiento, las

deflexiones y, las deformaciones unitarias en el acero de presfuerzo, en el acero convencional y en el concreto.

6. Análisis y discusión de los resultados obtenidos de los ensayos de las vigas de concreto presforzado y una propuesta teórica para la determinación de la disminución de la rigidez a la flexión y para la estimación del ancho de grieta para cargas de servicio en este tipo de elementos.

### **2.2.1 Metodología analítica**

La etapa inicial del diseño experimental implicó el análisis y diseño por flexión y cortante de vigas continuas de concreto parcialmente presforzado incluyendo el reforzamiento de las zonas de anclaje conforme a las recomendaciones del Instituto Americano del Concreto (ACI-318).

Como segunda etapa de investigación se llevó a cabo la experimentación en la que se fabricaron 24 vigas continuas (12 vigas y sus duplicados) de concreto parcialmente presforzado conforme a las dimensiones y características siguientes (véase tabla 2.1 y figuras 2.1 y 2.2):

- Seis vigas (3 series de 2 vigas) de tres claros continuos iguales de 2.4 m con una longitud total de 7.5 m y secciones transversales de 300 mm de ancho por 150 mm de peralte y con tres diferentes PPR.
- Seis vigas (3 series de 2 vigas) con tres claros continuos iguales de 2.4 m con una longitud total de 7.5 m y secciones transversales en forma de “U invertida” de 500 mm de ancho por 150 mm de peralte y con tres diferentes PPR.
- Seis vigas (3 series de 2 vigas) de tres claros continuos de 2.4, 3.6 y 2.4 m con una longitud total de 8.7 m y secciones transversales de 300 mm de ancho por 150 mm de peralte y con tres diferentes PPR.
- Seis vigas (3 series de 2 vigas) de tres claros continuos de 2.4, 3.6 y 2.4 m con una longitud total de 8.7 m y secciones transversales en

forma de “U invertida” de 500 mm de ancho por 150 mm de peralte y con tres diferentes PPR.

Con relación a la preparación de las vigas, en algunas zonas de los elementos que componen las vigas, se colocaron transductores eléctricos para la medición de las deformaciones unitarias (Lagrangiana), los cuales, de aquí en adelante, serán llamados solamente como “medidores de deformación unitaria”.

El acero de presfuerzo se colocó dentro de ductos de plástico inyectados con grasa para la protección contra la corrosión y, en dicho acero, en las zonas de tensión ubicadas sobre los apoyos y en los centros de los claros, se colocaron los medidores de deformación unitaria en donde se efectuaron las mediciones de acuerdo a los requerimientos de esta investigación. De manera similar, también se colocaron medidores de deformación unitaria en el acero de refuerzo convencional en las mismas zonas indicadas para el acero de presfuerzo.

Posteriormente se realizó el colado de las vigas considerando una resistencia a la compresión del concreto de 35 MPa, la cual se verificó con muestras de cilindros de concreto de 100 mm de diámetro x 200 mm de altura. A estas vigas se les aplicó un curado húmedo durante los primeros 7 días a partir de su fabricación. Después, en las zonas de momentos negativos y positivos en la superficie a compresión del concreto, se colocaron medidores de deformación unitaria.

Antes y después del tensado de los cables de presfuerzo se tomaron las lecturas en los medidores de deformación unitaria. También, se evaluaron las pérdidas por fricción, mediante el registro de la fuerza de presfuerzo transmitida a los cables de acero y sus alargamientos correspondientes.

Después de 90 días a partir de la transferencia del presfuerzo, se empezaron a realizar los ensayos de las 24 vigas de concreto presforzado llevándolas hasta su carga máxima. Durante los ensayos, para cada incremento

de carga de 10.08 kN, se observó el grado de agrietamiento, considerando la ubicación, la longitud y los anchos de grietas, también se obtuvieron las deflexiones para los tres centros de los claros, los alargamientos o acortamientos longitudinales y, se registraron las deformaciones unitarias en el acero de presfuerzo, en el acero convencional y en el concreto, para las zonas de momentos positivos y negativos de interés para la investigación.

### **2.3 Dimensionamiento de las vigas para los ensayos**

Para llevar a cabo la experimentación se fabricaron dos series de 12 vigas cada una. La primera serie con una sección transversal rectangular sólida ( $h \times b$ ) de 150 x 300 mm y dos longitudes, 7.5 y 8.7 m. La segunda serie con una sección transversal ( $h \times b$ ) de 150 x 500 mm formada por dos nervaduras longitudinales y un patín superior de 50 mm de espesor (“U” invertida), también con longitudes de 7.5 y 8.7 m. Ambos tipos de vigas se apoyaron de manera continua sobre cuatro soportes con claros de 2.4-2.4-2.4 m y 2.4-3.6-2.4 m, considerando las diferentes relaciones de presforzado parcial (PPR) como se indica en la tabla 2.1.

En las figuras 2.1 y 2.2 se muestran las dimensiones generales de las vigas, sus secciones transversales y la cantidad de cables de acero de presfuerzo y de acero convencional longitudinal que variaron conforme a la relación de presforzado parcial (PPR). Los estribos utilizados para cortante, de 6 mm de diámetro, se espaciaron a 60 mm (para PPR = 0.55), a 80 mm (para PPR = 0.65) y a 100 mm (para PPR = 0.79) según el tipo de viga con relación a la capacidad de carga estimada para garantizar que se presentara la falla a la flexión.

Tabla 2.1 Identificación de vigas continuas para los ensayos.

Claros continuos de 2.4-2.4-2.4 m			
Sección de 150 x 300 mm		Sección de 150 x 500 mm	
PPR = 0.79	2 vigas (V-1)	PPR = 0.79	2 vigas (V-4)
PPR = 0.65	2 vigas (V-2)	PPR = 0.65	2 vigas (V-5)
PPR = 0.55	2 vigas (V-3)	PPR = 0.55	2 vigas (V-6)
Claros continuos de 2.4-3.6-2.4 m			
Sección de 150 x 300 mm		Sección de 150 x 500 mm	
PPR = 0.79	2 vigas (V-7)	PPR = 0.79	2 vigas (V-10)
PPR = 0.65	2 vigas (V-8)	PPR = 0.65	2 vigas (V-11)
PPR = 0.55	2 vigas (V-9)	PPR = 0.55	2 vigas (V-12)

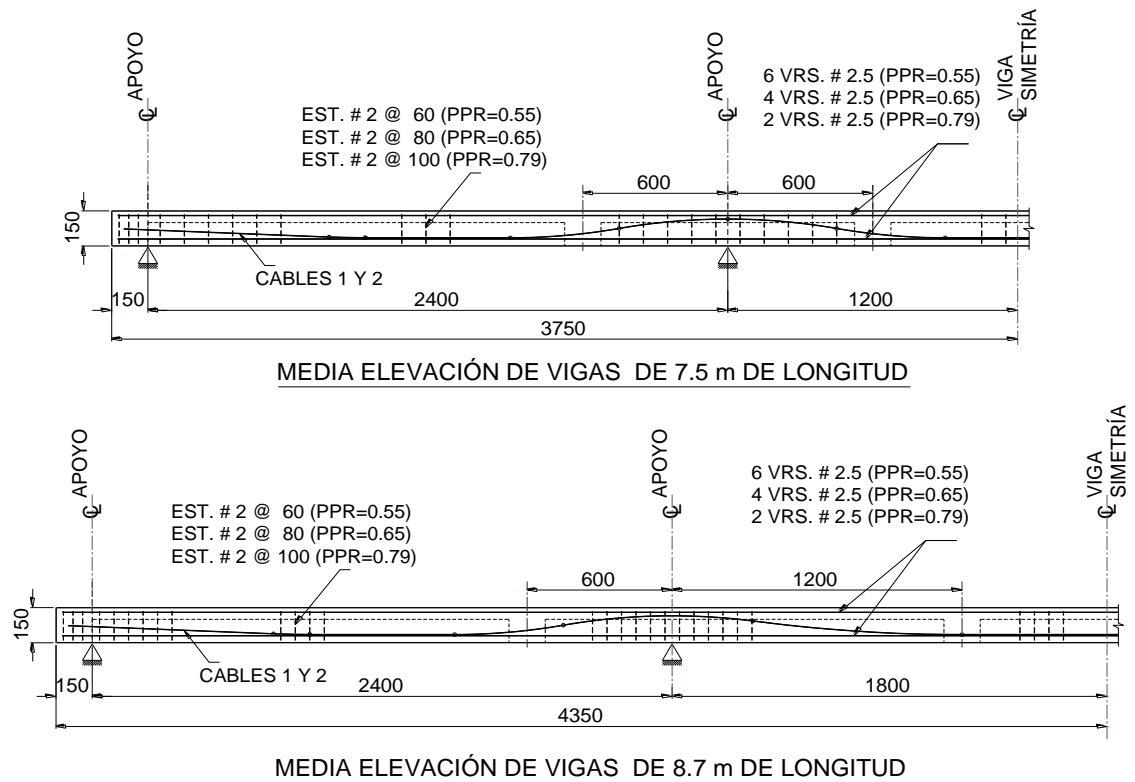
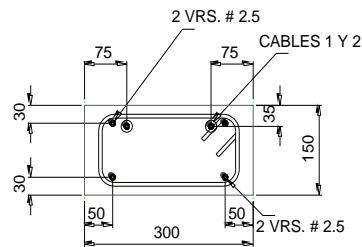
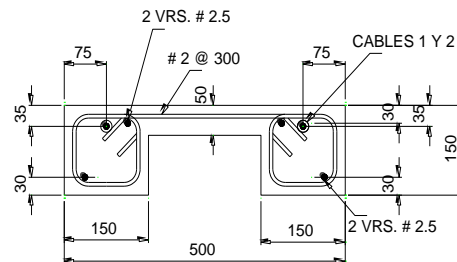


Figura 2.1 Detalle del acero de presfuerzo y del acero convencional en las vigas continuas.

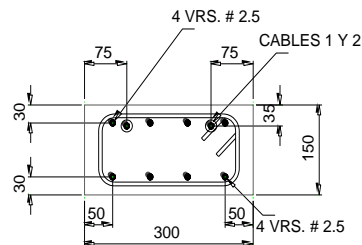




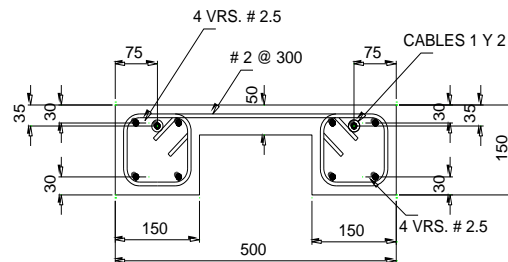
SECCIÓN TRANSVERSAL V-1 Y V-7



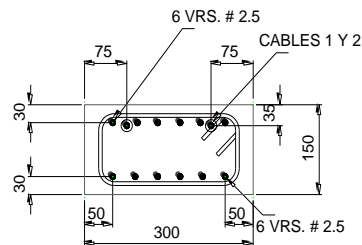
SECCIÓN TRANSVERSAL V-4 Y V-10



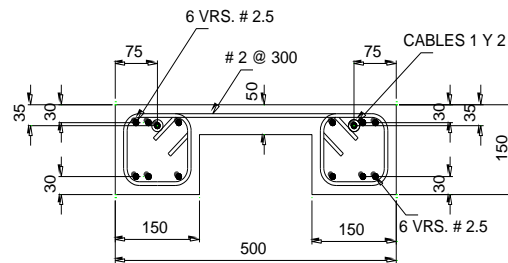
SECCIÓN TRANSVERSAL V-2 Y V-8



SECCIÓN TRANSVERSAL V-5 Y V-11



SECCIÓN TRANSVERSAL V-3 Y V-9

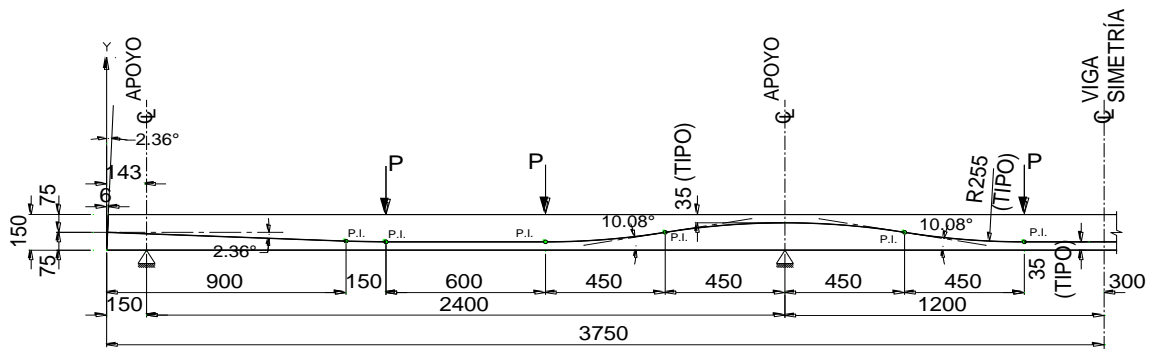


SECCIÓN TRANSVERSAL V-6 Y V-12

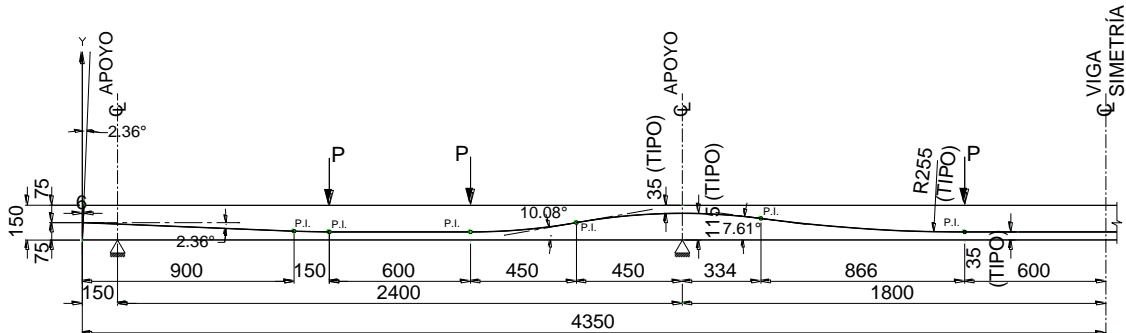
Figura 2.2. Secciones transversales de las vigas y su reforzamiento.

La trayectoria de los cables de presfuerzo que se consideró para las vigas continuas, se indica en la figura 2.3, la cual sigue una configuración parabólica cóncava o convexa a lo largo de su longitud de acuerdo a las zonas de momento positivo y negativo y, se consideraron tramos rectos de 0.6 m al centro de los claros de 2.4 m y un tramo recto de 1.2 m en el tercio medio del claro central para las vigas con el claro intermedio de 3.6 m. Los límites extremos de los tramos rectos horizontales de los cables, sobre los centros de los claros, como se muestra en la misma figura 2.3, corresponden a la

localización de los puntos de aplicación de las cargas concentradas para los ensayos.



a) Media elevación de viga continua Tipo 1. Claros de 2.4-2.4-2.4 m (Seis series de 2 piezas).



b) Media elevación de viga continua Tipo 2. Claros de 2.4-3.6 -2.4 m (Seis series de 2 piezas).

Figura 2.3. Ubicación de las cargas y trayectoria de los cables de post-tensado en vigas continuas.

## 2.4 Materiales para la fabricación de las vigas

### 2.4.1 Cables de acero de presfuerzo y sistema de anclaje

En todas las vigas se utilizaron dos cables de acero de presfuerzo de 7 alambres de baja relajación de 10 mm de diámetro Grado 270K ( $f_{pu} = 1890$  MPa) conforme a la norma ASTM A-416-10 colocados dentro de un ducto de 19 mm de diámetro. Esta resistencia se verificó mediante ensayos en los que se

obtuvo un esfuerzo máximo promedio de 1922 MPa y una deformación unitaria registrada de 0.039 mm/mm (figura 2.4) y, su módulo de elasticidad se consideró de 192.29 GPa.

En uno de los extremos de las vigas, se localizó el anclaje de tensado de los cables de presfuerzo y se reforzó con alambIÓN de 6 mm de diámetro en forma de estribos y en forma de espiral de 70 mm de diámetro como se muestra en la figura 2.5.

El otro extremo de las vigas, considerado como anclaje muerto, embebido en el concreto, se formó con un segmento de 25 mm de longitud de medio tubo de acero estructural A-36 ( $f_y = 253$  MPa) de 200 mm de diámetro y 6 mm de espesor para el caso de las vigas de 300 mm de ancho y, se formó con un par de segmentos de un cuarto de tubo, con las mismas características, para las vigas de 500 mm de ancho. Adicionalmente, también se reforzó con alambIÓN de 6 mm de diámetro en forma de estribos. El detalle de estos anclajes, en forma de “U”, se muestra en la figura 2.6.



a) Ensayo de cable.



b) Falla del cable.

Figura 2.4. Ensayo de cables de presfuerzo para verificar su resistencia.



a) Para viga de 300 x 150 mm.



b) Para viga de 500 x 150 mm.

Figura 2.5. Anclaje de tensado en los extremos de las vigas.

Después la aplicación de la fuerza de presfuerzo, en los extremos de tensado, los cables de presfuerzo se anclaron con un sistema de anclaje del tipo placa, barril y cuña de Freyssinet, el cual se muestra más adelante en la figura 2.15.

#### 2.4.2 Acero de refuerzo convencional

El acero convencional adherido utilizado en las vigas consistió de varillas corrugadas de 8 mm (5/16") de diámetro Grado 42 ( $f_y = 420$  MPa), según la norma ASTM A-615-09, el cual fue verificado mediante ensayos en donde se observó un comportamiento dúctil (figura 2.7) y su módulo de elasticidad se consideró de 200 GPa. Este refuerzo longitudinal se tomó en cuenta como parte de la contribución de la resistencia a la flexión en diferentes cantidades según la relación de presforzado parcial.

Como refuerzo por cortante, se utilizaron estribos de alambρόn (ASTM A510, 2011) de 6 mm (1/4") de diámetro Grado 28 ( $f_y = 280$  MPa) con espaciamientos a cada 60, 80 y 100 mm también conforme a la capacidad de carga máxima de las vigas.



a) Para viga de 300 x 150 mm.



b) Para viga de 500 x 150 mm.

Figura 2.6. Anclaje muerto en los extremos de las vigas.



a) Ensayo de varillas.



b) Falla de la varilla.

Figura 2.7. Ensayo de varillas de refuerzo convencional.

### **2.4.3 Concreto**

Se utilizó un concreto de peso normal con una resistencia mínima a la compresión a los 28 días ( $f'_{cr}$ ) de 35 MPa. Los materiales utilizados para obtener las mezclas de este concreto fueron cemento portland ordinario tipo CPO 40, agregado de caliza triturada y aditivo reductor de agua Glenium 3030. En general, se utilizó una mezcla con una relación agua-cementante de 0.5 incluyendo un aditivo superplastificante para mejorar la trabajabilidad para lograr un revenimiento de 200 +/- 10 mm (ASTM C 143, 2010). Para conseguir la resistencia objetivo, se realizaron mezclas de pruebas mediante las cuales se estableció el proporcionamiento definitivo una vez que se confirmaron la consistencia y la resistencia a la compresión objetivo (ASTM C 31, 2010) en el que el consumo de cemento fue de 300 Kg/m<sup>3</sup>.

### **2.5 Instrumentación para la medición de las deformaciones unitarias en las vigas**

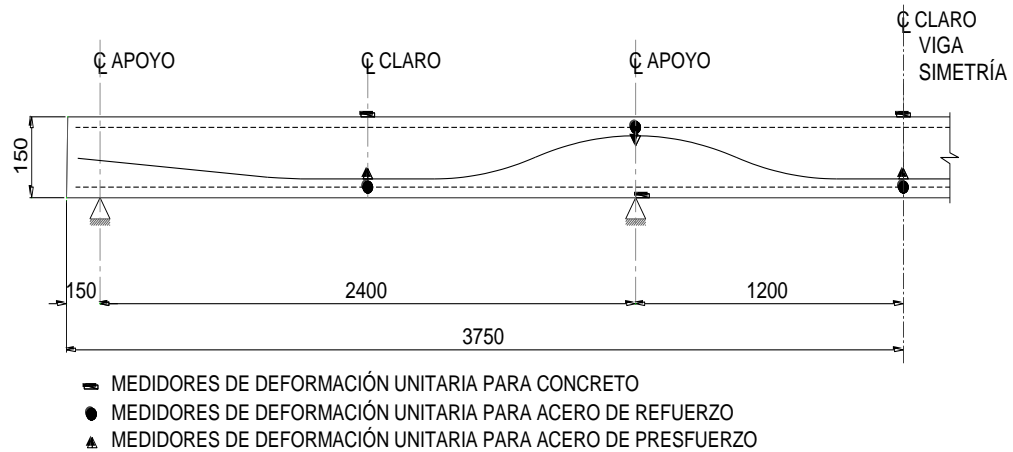
Para realizar la medición de las deformaciones unitarias de las vigas se utilizaron medidores de deformación unitaria colocados en el acero de presfuerzo y en el acero de refuerzo convencional, previamente al colado del concreto, en las siguientes zonas de falla posibles (figura 2.8):

- a) Zonas de momento positivo en el centro de uno de los claros extremos
- b) Zonas de momento positivo del centro del claro intermedio y
- c) Zonas de momento negativo sobre los apoyos interiores.

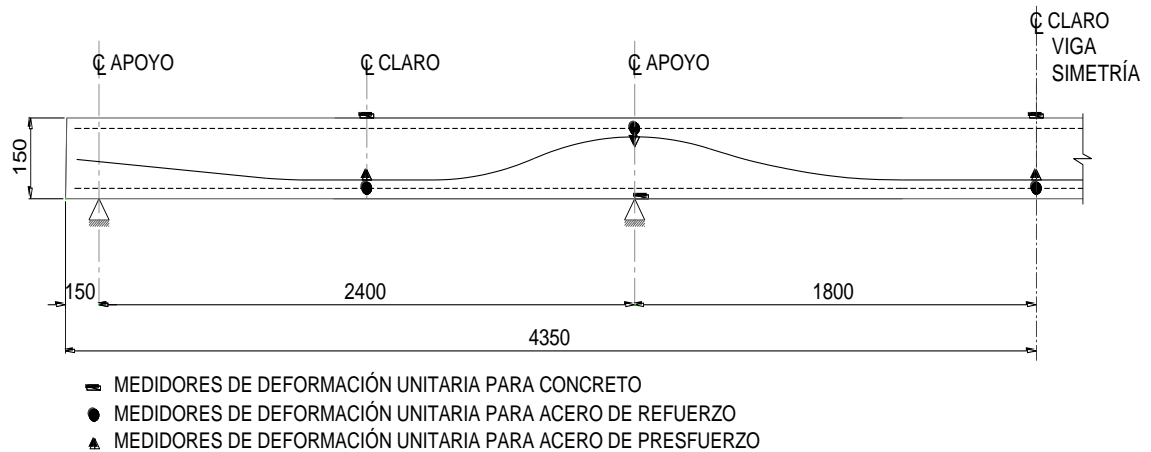
Además, se colocaron medidores de deformación unitaria en el concreto posteriormente a la fabricación de las vigas en las mismas zonas mencionadas anteriormente sobre la superficie de compresión. Con esta instrumentación, se monitoreó las deformaciones unitarias en el acero de presfuerzo, en el acero



convencional y en el concreto durante la aplicación de las cargas de ensaye, incluyendo la etapa de la transferencia del presfuerzo.



a) Localización de medidores en vigas Tipo 1, claros 2.4-2.4-2.4 m.



b) Localización de medidores en vigas Tipo 2, claros 2.4-3.6-2.4 m.

Figura 2.8 Localización de medidores de deformación unitaria.

Para la instrumentación de las varillas de acero convencional de 8 mm de diámetro (figura 2.9) se utilizaron medidores de deformación unitaria tipo EA-06-250BG-120, los cuales se protegieron con tubos de PVC de 13 mm de diámetro sellando los extremos y el orificio de salida del cable con plastilina epóxica y silicón.

Para el acero de presfuerzo de 10 mm de diámetro se utilizaron medidores de deformación unitaria tipo EA-06-125BT-120 opción LE por ser de un tamaño más pequeño. Se protegieron dentro del mismo ducto del cable de presfuerzo colocando una capa de pegamento, una cubierta de neopreno y cinta de aluminio dejando fijo el cable eléctrico en el orificio de salida con una longitud de holgura de 70 mm dentro del ducto para considerar el deslizamiento del cable de presfuerzo durante su tensado.

Para llevar a cabo la colocación del medidor de deformación en esta zona, se cortó un segmento del ducto del cable de presfuerzo colocando posteriormente un tubo de 200 mm de longitud por 25 mm de diámetro para restaurar nuevamente la continuidad del ducto. Las conexiones entre ambos ductos de 19 y 25 mm se sellaron con silicón (figura 2.10).

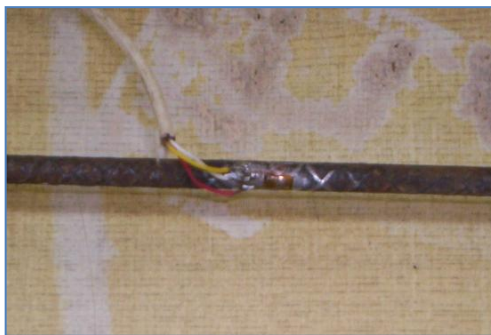


Figura 2.9. Colocación de medidores de deformación unitaria en varillas de acero convencional.





a) Colocación y protección de medidores.



b) Protección y colocación dentro del ducto.

Figura 2.10. Colocación de medidores de deformación unitaria en cables de acero de presfuerzo.

La instrumentación para las zonas de compresión del concreto se realizó posteriormente a la fabricación de las 24 vigas y antes de la ejecución del tensado de los cables de presfuerzo, utilizando medidores de deformación unitaria tipo EA-06-20CBW-120. Previamente a su colocación se pulieron las superficies de concreto y adicionalmente se protegieron con pegamento industrial (figura 2.11).



Figura 2.11 Colocación de medidores de deformación unitaria en zonas del concreto a compresión.

## 2.6 Fabricación de las vigas de concreto

La fabricación del concreto para las 24 vigas se realizó conforme a la norma ASTM C-31-10 la cual contempla los procedimientos de mezclado, colado, curado y muestreo del concreto. Se utilizó una revolvedora convencional con capacidad de 90 L considerando la misma relación agua-cementante en todos los casos ( $A/C = 0.5$ ).

El colado del concreto se llevó a cabo en una sola operación para cada serie de dos vigas gemelas en un solo día (figura 2.12), es decir, exactamente con las mismas características dimensionales y de contenido de acero convencional y de presfuerzo.



a) Colado de vigas y cilindros.



b) Colado de un par de vigas.

Figura 2.12. Colado y vibrado del concreto para un par de vigas del mismo tipo.

La cantidad de mezclas producidas para cada par de vigas varió entre 9 y 14, dependiendo de sus dimensiones y, también, variaron ligeramente las

cantidades de material dependiendo del contenido de humedad de los agregados grueso y fino al instante del colado (tabla 2.2).

Tabla 2.2. Proporcionamiento por mezcla de concreto para los 12 tipos de vigas incluyendo humedad de obra (H.O.).

<b>VIGA No.</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>MATERIALES:</b>												
Agua (Kg)	15.59	15.59	15.59	16.63	17.36	16.28	16.53	16.63	15.26	14.44	16.99	16.70
Cementante (Kg)	30.00	30.00	30.00	32.00	32.00	30.00	32.00	32.00	32.00	30.00	32.00	32.00
Agregado Grueso (Kg)	62.79	62.78	62.99	67.31	67.10	62.90	67.17	67.19	67.31	62.91	67.11	67.17
Agregado Fino (Kg)	77.21	77.22	77.04	82.59	82.05	76.92	82.81	82.70	83.96	78.72	82.36	82.59
Aditivo Reductor (mL)	294	294	275	80	80	75	80	80	80	130	130	130
% absorción Ag. Grueso	0.634	0.634	0.634	0.634	0.634	0.634	0.634	0.634	0.634	0.634	0.634	0.634
% absorción Ag. Fino	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25
% H.O. Ag. Grueso	0.1	0.05	0.32	0.5	0.2	0.25	0.3	0.31	0.5	0.2	0.21	0.3
% H.O. Ag. Fino	1	1.7	1.46	1.32	0.66	0.7	1.6	1.47	3	3	1.06	1.35
Vol. Concreto/mezcla (L)	78.95	78.95	78.95	84.21	84.21	78.95	84.21	84.21	84.21	78.95	84.21	84.21
No. de Mezclas (2 vigas)	9	9	9	11	11	12	10	10	10	14	13	13

Para cada mezcla, se tomó un par de muestras de concreto en cilindros de 100 mm de diámetro x 200 mm de altura, para monitorear la resistencia a la compresión del concreto a diferentes edades conforme a la norma ASTM C-39-11 y, para determinar el módulo de elasticidad, de acuerdo a la norma ASTM C-469-10.

Posteriormente al colado de las vigas, se realizó un curado normal mediante la colocación de mantas de tela que se estuvieron humedeciendo constantemente durante 7 días sobre la superficie de las vigas, las cuales permanecieron dentro de su cimbra metálica.

## 2.7 Tensado de los cables de presfuerzo

La fuerza de presfuerzo transmitida de manera simultánea a cada uno de los dos cables de las vigas (figura 2.13), fue de 75.34 kN equivalente a un esfuerzo de  $0.74 f_{pu}$ . Durante la aplicación de esta fuerza, se obtuvo la información de las deformaciones unitarias que se presentaron en el acero de presfuerzo, en el acero de refuerzo convencional y en el concreto en las zonas donde se colocaron los medidores de deformación unitaria y, también, se registraron los acortamientos longitudinales de las vigas mediante sensores de desplazamiento localizados en ambos extremos mediante un equipo de adquisición de datos “Daq Mx” (figura 2.14).

El equipo de adquisición utilizado consta de 4 módulos con entradas analógicas de los cuales uno de ellos está fijo para la adquisición de las señales eléctricas y, adicionalmente, se conectaron dos módulos más con ocho canales cada uno para el registro de las lecturas correspondientes a los medidores de deformación unitaria y para la conexión de los transductores de desplazamiento para el registro de los acortamientos longitudinales de las vigas. Adicionalmente se incluyó otro módulo para la conexión de las señales de 4 celdas de carga ubicadas en cada uno de los apoyos de las vigas. Para el registro de la información obtenida con este equipo, se elaboró previamente un programa mediante el software LabView.

Después de haber transferido la fuerza de presfuerzo a los cables, éstos se anclaron con el sistema del tipo placa, barril y cuña de Freyssinet (figura 2.15), con el que se evitaron las pérdidas por asentamiento del anclaje por su forma física de tuerca y rosca. Adicionalmente se fueron revisando los alargamientos de los cables para verificar que la fuerza aplicada en incrementos

del 25 % con relación la fuerza total, indicada en los manómetros de los gatos hidráulicos, fuera la correcta.



Figura 2.13. Tensado simultáneo de cables.



Figura 2.14. Equipo de adquisición de datos "Daq Mx".



a) Anclaje del Sistema Freyssinet



b) Cables anclados.

Figura 2.15 Anclaje de los cables de presfuerzo.

## 2.8 Aplicación de las cargas durante los ensayos

Para el ensaye individual de cada una de las 24 vigas, utilizando un sistema de vigas de acero estructural, se aplicó un par de cargas concentradas



en cada claro, espaciadas a 0.6 m entre sí, para el centro de los claros de 2.4 m de longitud y, a los tercios del claro, para los claros de 3.6 m (figuras 2.16 y 2.17).

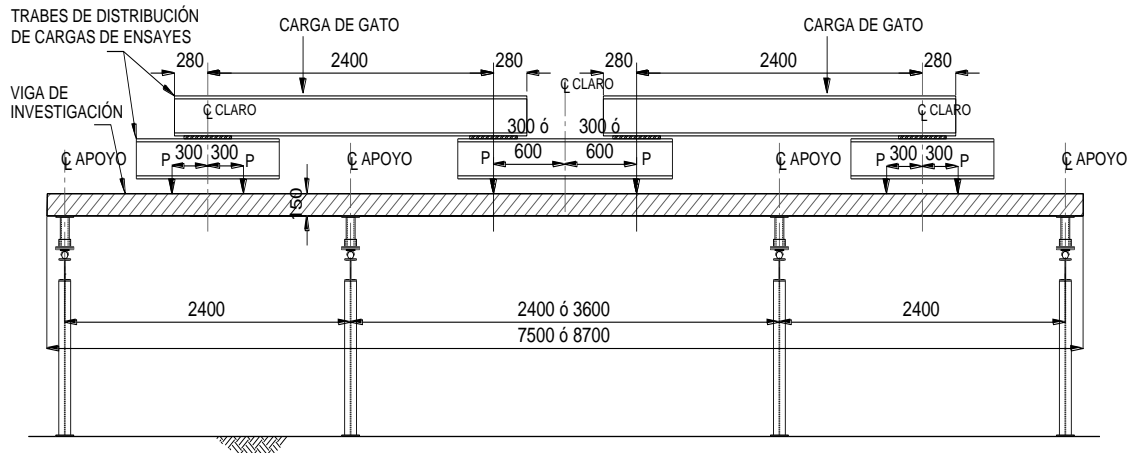


Figura 2.16. Esquema de aplicación de cargas en vigas continuas.



Figura 2.17. Sistema de vigas de acero para la aplicación de cargas.

La magnitud de las cargas de prueba se estimó inicialmente conforme a la capacidad de las vigas en función de las relaciones de presfuerzo parcial, de las secciones transversales de concreto y, de la cantidad de acero de presfuerzo y de acero convencional según el tipo de viga descrito anteriormente.

En base a este criterio se procedió a realizar los ensayos de las vigas tomando en cuenta la aplicación de las cargas, sobre los seis puntos mostrados en las figuras 2.16 y 2.17, en incrementos de carga de 10.08 kN total, sobre

estos seis puntos, desde cero hasta un valor máximo determinado inicialmente de manera aproximada con base a la resistencia a la flexión teórica de las secciones transversales, en la que se consideró el esfuerzo último de los cables de acero de presfuerzo ( $f_{ps}$ ) conforme a la ecuación 18.4 del código ACI-318.

En la tabla 2.3 se muestran los valores de las cargas máximas totales obtenidas teóricamente (Carga Máxima Teórica Esperada por Zona), propuestas inicialmente para la determinación de la capacidad de carga de las diferentes vigas de prueba, sin embargo, la aplicación de las cargas, durante los ensayos, se llevó a cabo hasta observar la falla de los elementos considerando que la segunda carga mostrada en esta tabla (2a. Carga  $M1^+$ ), sería la que produciría la falla del elemento.

Tabla 2.3. Carga teórica esperada y carga máxima aplicada en vigas.

VIGA No.	SECCIÓN	PPR	$M_n^+$ (kN-m)	$M_n^-$ (kN-m)	CARGA MÁXIMA TEÓRICA ESPERADA POR ZONA (kN)			CARGA MÁXIMA OBTENIDA DE ENSAYES (kN)	
					1a. Carga $M^-$	2a. Carga $M1^+$	3a. Carga $M2^+$	VIGA A	VIGA B
1	300 X 150	0.79	21.3	21.3	180.8	198.2	546.3	267.5	267.5
2	300 X 150	0.64	24.9	24.9	211.5	231.9	639.0	327.5	345.6
3	300 X 150	0.54	28.0	28.0	238.1	261.1	719.4	376.8	367.2
4	500 X 150	0.79	22.7	21.0	155.7	217.5	316.9	304.0	307.2
5	500 X 150	0.65	26.6	24.6	182.4	254.3	371.4	317.7	325.6
6	500 X 150	0.55	30.7	28.2	210.4	291.8	428.4	365.0	376.9
7	300 X 150	0.79	20.6	20.6	175.4	192.3	529.9	246.3	241.9
8	300 X 150	0.64	24.4	24.4	207.8	227.8	627.7	-	304.0
9	300 X 150	0.54	28.2	28.2	240.2	263.4	725.9	339.7	321.1
10	500 X 150	0.79	22.5	20.8	153.7	214.8	312.9	253.3	238.6
11	500 X 150	0.65	26.8	24.8	183.5	256.2	373.6	316.3	289.8
12	500 X 150	0.55	30.8	28.4	211.0	293.1	429.5	297.5	334.3

En las últimas dos columnas de la tabla 2.3, se muestran las cargas máximas totales de falla, obtenidas durante los ensayos de las vigas, las cuales corresponden a la suma de las cargas individuales sobre los seis puntos indicados en las figuras 2.16 y 2.17.

## **2.9 Mediciones de deformaciones y de anchos de grietas durante los ensayos**

Como se mencionó anteriormente, previo a la realización de los ensayos se colocaron transductores de desplazamiento en los tres centros del claro para cada una de las vigas para la medición de las deflexiones en las diferentes etapas de carga mencionadas. Al mismo tiempo, también se utilizaron transductores de desplazamiento en los extremos de las vigas para la medición de los acortamientos o alargamientos durante los ensayos.

También, se observó la cantidad y distribución de los agrietamientos y se midieron los anchos de grietas con un microscopio óptico portátil de 50 aumentos (Elcometer 900, x50) para cada una de las etapas de carga mencionadas.

Durante los ensayos, el equipo de adquisición de datos utilizado fue el mismo que para la etapa de tensado, con el que se registraron 18 lecturas para cada incremento de carga. Estas lecturas corresponden a nueve medidores de deformación unitaria colocados en los cables de acero de presfuerzo, en el acero de refuerzo convencional y en el concreto, tres transductores en cada uno de los centros del claro, dos transductores colocados en los extremos de las vigas y cuatro lecturas más provenientes de las celdas de carga colocadas en cada uno de los apoyos de las vigas (figura 2.18).



Con esta información, se obtuvo, para cada uno de los incrementos de cargas, las deformaciones unitarias en el acero de presfuerzo, en el acero convencional y en el concreto; las deflexiones a los centros de cada claro, los alargamientos o acortamientos en los extremos de las vigas y las reacciones en cada uno de sus apoyos.



a) Equipo de adquisición "Daq Mx".



b) Celdas de carga en apoyos.



c) Transductores en extremos.



d) Transductores al centro del claro.

Figura 2.18. Mediciones durante los ensayos.

## **CAPÍTULO 3**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **3.1 Resultados de los ensayos de las muestras de cilindros de concreto**

A partir de las muestras de cilindros de 100 mm de diámetro x 200 mm de altura, se obtuvo la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad del concreto (figura 3.1) a diferentes edades. En la tabla 3.1 se muestran los resultados de la resistencia a la compresión ( $f'_{cr}$ ) a los 28 días y, en la tabla 3.2, la resistencia a la compresión a la edad en la que se realizaron los ensayos de las vigas, la cual fue alrededor de 1080 días en promedio y, también se obtuvo el módulo de elasticidad del concreto (tabla 3.3). Esta información se tomó en cuenta para la obtención de las deformaciones unitarias en el concreto correspondientes a la etapa en la que se realizaron los ensayos de las vigas.

La información mostrada en las tablas 3.1, 3.2 y 3.3, corresponde a las muestras de cilindros que se tomaron para cada par de vigas fabricadas en un solo día. La resistencia mínima esperada se consideró inicialmente de 35 MPa, sin embargo, existieron variaciones entre cada tipo de viga en las que la menor resistencia promedio a la compresión axial del concreto fue de 33.9 MPa y la máxima fue de 44.6 MPa.



a) Adquisición y respaldo de datos.



b) Medidores de deformación unitaria en cilindros.



c) Ensaye típico del Módulo de Elasticidad del concreto.



d) Ensayes a Compresión.

Figura 3.1. Ensaye de cilindros a compresión y del Módulo de Elasticidad.

En general, con los resultados de los ensayos de los cilindros a compresión del concreto, del total de las muestras de los doce tipos de vigas, se obtuvo una desviación estándar de 3.7 MPa para los ensayos a los 28 días y de 4.1 MPa para la edad en que se realizaron los ensayos de las vigas y, se obtuvo un coeficiente de variación del 9.7 %, para la resistencia a la compresión a los 28 días y, del 10.6 % para la edad en la que se realizaron los ensayos de las vigas, lo cual indica que se encuentran en un rango aceptable al tomar en cuenta el valor recomendado del 10.6 % (ASTM C39, 2011).

Tabla 3.1. Resistencia a la compresión ( $f'_{cr}$ ) a los 28 días (MPa).

VIGA No.	CILINDRO No.	1	2	3	4	5	6	7	8	PROMEDIO
	Fecha de colado:									
V - 1	09-nov-11	39.8	45.5	45.8	42.2	46.2	43.3	44.6	47.3	44.3
V - 2	17-nov-11	43.8	36.0	40.0	39.9	41.7	38.1	37.9	39.3	39.6
V - 3	24-nov-11	38.5	34.9	35.6	39.1	35.4	32.4	35.6		35.9
V - 4	09-mar-12	34.1	32.7	39.9						35.6
V - 5	30-mar-12	31.5	35.6	36.1						34.4
V - 6	18-may-12	39.4	37.1	41.2	41.5					39.8
V - 7	02-dic-11	34.7	37.7	36.3						36.2
V - 8	14-dic-11	40.7	43.7	39.5	40.2	36.6	33.6	36.1		38.6
V - 9	21-dic-11	38.8	31.2	35.5	33.8	33.3	32.3	32.7		33.9
V - 10	08-jun-12	36.8	38.6	42.0	41.7	39.9	39.0	41.2	39.2	39.8
V - 11	19-jul-12	40.3	36.1	36.4	38.8	38.1	44.1			39.0
V - 12	06-sep-12	39.0	38.9	39.6	38.6					39.0

Media = 38.5  
 Desviación Estándar = 3.7 MPa  
 Coeficiente de Variación = 9.7 %

Tabla 3.2. Resistencia a la compresión ( $f'_{cr}$ ) en la etapa del ensaye de las vigas (MPa). Fecha de ensaye: 24-marzo-2015.

VIGA No.	Fecha de colado:	CILINDRO No.	1	2	3	4	5	6	PROMEDIO
		Edad (días)							
V - 1	09-nov-11	1231	41.8	42.8	43.1	46.1	49.1		44.6
V - 2	17-nov-11	1223	40.9	47.8	41.4				43.3
V - 3	24-nov-11	1216	36.6	38.9	33.0				36.2
V - 4	09-mar-12	1110	37.5	41.8	46.0				41.8
V - 5	30-mar-12	1089	40.9	37.2	41.3				39.8
V - 6	18-may-12	1040	40.9	36.8	42.7	37.9	36.3	38.4	38.8
V - 7	02-dic-11	1208	38.1	40.5	37.8	43.8	38.6		39.8
V - 8	14-dic-11	1196	31.9	32.6	36.7	35.7			34.2
V - 9	21-dic-11	1189	38.8	33.9	43.3	32.8			37.2
V - 10	08-jun-12	1019	36.1	34.6					35.4
V - 11	19-jul-12	978	36.6	36.5	43.2				38.8
V - 12	06-sep-12	929	37.5	35.4	34.8				35.9

Media = 39.1  
 Desviación Estándar = 4.1 MPa  
 Coeficiente de Variación = 10.6 %

Tabla 3.3. Módulo de Elasticidad a la compresión del concreto para la etapa del ensaye de las vigas (GPa). Fecha de ensaye: 24-marzo-2015.

VIGA No.	Fecha de colado:	CILINDRO No.	1	2	3	4	5	6	PROMEDIO
		Edad (días)							
V - 1	09-nov-11	1231	30.53	28.83	31.36	32.05	30.50		30.65
V - 2	17-nov-11	1223	30.30	31.24	29.73				30.43
V - 3	24-nov-11	1216	29.16	31.67	28.68				29.83
V - 4	09-mar-12	1110	27.81	29.64	31.07				29.51
V - 5	30-mar-12	1089	31.37	27.92	29.78				29.69
V - 6	18-may-12	1040	29.03	29.71	29.83	29.67	30.06	29.11	29.57
V - 7	02-dic-11	1208	29.76	30.83	29.50	31.38	29.99		30.29
V - 8	14-dic-11	1196	28.12	28.23	29.22	29.29			28.71
V - 9	21-dic-11	1189	29.17	29.88	29.92	29.57			29.64
V - 10	08-jun-12	1019	28.85	28.07					28.46
V - 11	19-jul-12	978	29.16	28.68	29.08				28.97
V - 12	06-sep-12	929	29.06	28.50	26.56				28.04

Media = 29.59  
 Desviación Estándar = 1.15 GPa  
 Coeficiente de Variación = 3.9 %

En el caso de la determinación del módulo de elasticidad, también para el total de las muestras de los doce tipos de vigas, la desviación estándar fue de 1.15 GPa y, el coeficiente de variación fue del 3.9 % el cual se encuentra en un rango aceptable con respecto al valor máximo recomendado del 5 % (ASTM C469, 2010).

Con esta información se puede especificar la resistencia del concreto  $f'_c$  (ACI-318, 2014) elaborado para la fabricación de las vigas de esta investigación. La primera expresión para determinar esta resistencia corresponde al promedio de todos los grupos de tres ensayos consecutivos de cilindros, la cual sería:

$$f'_c = f'_{cr} - 1.34 S = 39.1 - 1.34 \times 4.1 = 33.6 \text{ MPa}$$

y, el segundo caso, sería que ningún ensaye sea menor de  $f'_c$  en más de 3.45 MPa:

$$f'_c = f'_{cr} + 35 - 2.33 S = 39.1 + 3.45 - 2.33 \times 4.1 = 33.0 \text{ MPa}$$

Por lo tanto, el valor menor de ambos resultados será  $f'_c = 33 \text{ MPa}$  que correspondería a la resistencia especificada del concreto fabricado.

Sin embargo, en esta investigación, la resistencia a la compresión axial y el módulo de elasticidad del concreto que se involucraron en la determinación de las deformaciones unitarias del concreto y, que se relacionaron con las deformaciones unitarias del acero de presfuerzo y del acero convencional, fueron directamente los valores promedio obtenidos para cada tipo de viga en particular, como se indica en la última columna de las tablas 3.1, 3.2 y 3.3.

### **3.2 Etapa de tensado de los cables de presfuerzo**

La primera etapa de carga sobre las vigas corresponde a la etapa de transferencia del presfuerzo en donde se midió la fuerza transmitida a los cables y se determinaron las deformaciones axiales de las vigas de concreto y los alargamientos de los cables.

El tiempo transcurrido después de la fabricación de las vigas hasta la aplicación de la fuerza de presfuerzo, fue de 540 días, lo cual permitió que los efectos de la contracción por secado del concreto no influyeran sobre las pérdidas de presfuerzo debido a que la relación volumen-superficie es pequeña y la mayoría del secado ya había ocurrido.

En esta etapa, la fuerza inicial transferida a ambos cables de cada viga, mediante gatos del sistema Freyssinet, se aplicó simultáneamente hasta un valor de 75.32 kN (7680 Kgf o 160 Bares) y al mismo tiempo, para la verificación de esta fuerza, se midieron los alargamientos de los cables de presfuerzo mostrados en la tabla 3.4. El alargamiento promedio para las vigas de 7.5 m de longitud (V-1 a V-6) fue de 51.83 mm y para las vigas de 8.7 m (V-7 a V-12) fue de 59.71 mm.

Tabla 3.4. Alargamientos de los cables de presfuerzo.

VIGA	ALARGAMIENTO TOTAL (mm)	
	CABLE 1	CABLE 2
V-1A	52	51
V-1B	53	53
V-2A	53	52
V-2B	53	55
V-3A	53	53
V-3B	50	50
V-4A	54	54
V-4B	52	48
V-5A	52	51
V-5B	52	52
V-6A	50	50
V-6B	49	52
V-7A	58	57
V-7B	61	60
V-8A	61	59
V-8B	63	63
V-9A	59	61
V-9B	57	58
V-10A	60	61
V-10B	61	59
V-11A	63	63
V-11B	61	61
V-12A	52	51
V-12B	63	61

Para la verificación de la fuerza de presfuerzo, también se elaboraron los diagramas de tensado (figuras 3.2 y 3.3), para los dos tipos de longitudes de vigas, tomando en cuenta las pérdidas por fricción y curvatura considerando los factores promedio de longitud  $K = 0.0014$  y de curvatura  $\mu = 0.05$  obtenidos para el tipo de cable y de ducto utilizados en las vigas. Para la obtención de esta información, se consideraron las características geométricas de los cables de presfuerzo (longitud y curvatura), el esfuerzo de tensado de los cables y el alargamiento total registrado durante el tensado.

Con la información de los diagramas de tensado y con la expresión típica para determinar las pérdidas de presfuerzo por fricción, incluida en el apéndice B (ecuación B.1), el esfuerzo inicial promedio obtenido fue de 1364.14 MPa para las vigas de 7.5 m de longitud y, de 1353.52 MPa para las vigas de 8.7 m de longitud. Para estos esfuerzos promedio, los alargamientos teóricos fueron de 50.6 mm y de 59.1 mm dando diferencias del 2.4 % y del 1.0 % respectivamente, con respecto a los alargamientos promedio medidos durante el tensado de los cables de presfuerzo indicados en la tabla 3.4, las cuales se encuentran dentro del rango del  $\pm 7.0$  % recomendado.

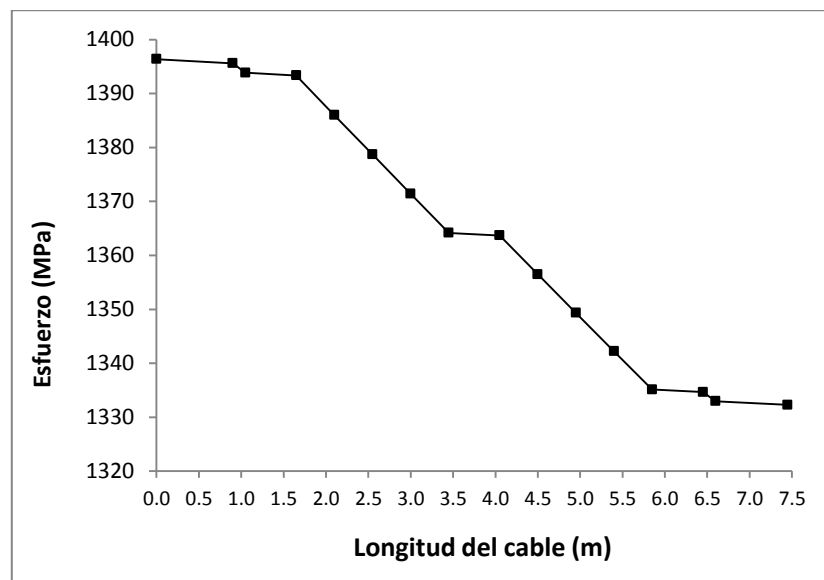


Figura 3.2. Diagrama de Tensado para vigas con claros de 2.4-2.4-2.4 m.



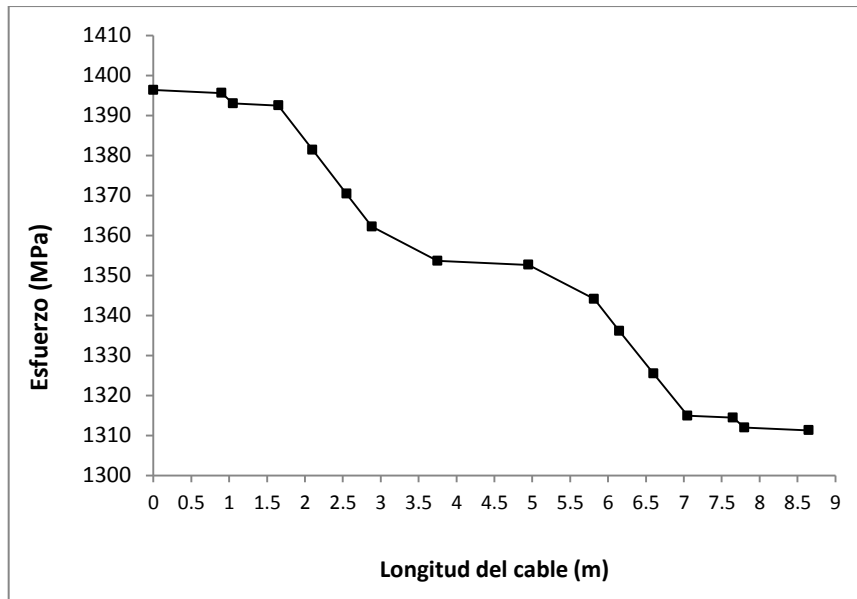


Figura 3.3. Diagrama de Tensado para vigas con claros de 2.4-3.6-2.4 m.

El asentamiento del anclaje no influyó en la determinación de las pérdidas de presfuerzo debido a que los cables se anclaron con el sistema de tipo cuña, barril y tuerca, el cual permite que las cuñas se ajusten sin que se presenten deslizamientos de los cables.

También, a partir de los diagramas de tensado, considerando las pérdidas por relajación y las pérdidas por fluencia (apéndice B) se obtuvieron los esfuerzos promedio iniciales ( $f_{se}$ ) de los cables de presfuerzo para cada una de las dos tipos de trayectorias correspondientes a sus longitudes (7.5 y 8.7 m), los cuales fueron involucrados como datos iniciales de esfuerzos (véase tablas 3.5 y 3.6), previos a la aplicación de las cargas de ensaye.

Posteriormente a esta etapa de transferencia, transcurrieron 90 días antes del ensaye de la primera viga, lo cual favoreció a que las pérdidas por relajación de los cables de presfuerzo se presentaran prácticamente en su totalidad y por lo tanto, tampoco fue una variable que afectara durante la aplicación de las cargas de los ensayes.

Para complementar la información adquirida durante la etapa de tensado, también se realizó un análisis estructural de las vigas, mediante el software STAADPro (apéndice C), considerando la fuerza de presfuerzo efectiva después de pérdidas ( $f_{se}$ ), obtenida a partir de los diagramas de tensado y, las pérdidas de presfuerzo calculadas en el apéndice B.

En este análisis (apéndice C), también se tomó en cuenta la carga equivalente de los cables de presfuerzo y el peso propio de las vigas. Los resultados obtenidos a partir de este análisis, que corresponden a los esfuerzos producidos por las cargas mencionadas, se involucraron en los resultados de los ensayos de las vigas, igualmente como parte de los datos iniciales antes de la aplicación de las cargas de los ensayos (véase tablas 3.5 y 3.6).

En la tabla 3.5 se muestran los esfuerzos, en las fibras superior e inferior de las vigas ensayadas, los cuales son debidos a la fuerza de presfuerzo, incluyendo su carga equivalente ( $f_{se} + w_{eq}$ ). Estos esfuerzos se utilizaron para determinar la curvatura inicial de las vigas en las secciones de interés de la investigación.

Los esfuerzos incluidos en la tabla 3.6 corresponden a las cargas de la fuerza de presfuerzo y del peso propio de las vigas ( $f_{se} + w_{eq} + w_{pp}$ ), los cuales se determinaron a nivel del acero convencional y en la fibra en compresión del concreto. Estos esfuerzos se utilizaron para obtener las deformaciones de estos dos materiales como deformaciones iniciales, a la que se sumaron las deformaciones unitarias que se presentaron posteriormente durante los ensayos.

Tabla 3.5. Esfuerzos en vigas debidos al presfuerzo efectivo después de pérdidas más carga equivalente:  $f_{se} + w_{eq}$  (MPa).

LOCALIZACIÓN	CLAROS (m)	SECCIÓN (mm)	CLARO 1	APOYO 2	CLARO 2	APOYO 3	CLARO 3
Fibra superior	2.4 -2.4- 2.4	300 x 150	-0.254	8.042	0.144	7.891	-0.155
		500 x 150	0.186	5.94	0.459	5.832	0.244
	2.4 -3.6- 2.4	300 x 150	-0.035	8.465	0.512	8.208	0.018
		500 x 150	0.335	6.23	0.703	6.041	0.351
Fibra inferior	2.4 -2.4- 2.4	300 x 150	6.022	-2.275	5.623	-2.124	5.793
		500 x 150	5.132	-2.205	4.784	-2.071	4.938
	2.4 -3.6- 2.4	300 x 150	5.799	-2.702	5.079	-2.617	5.405
		500 x 150	4.939	-2.582	4.309	-2.502	4.602

Tabla 3.6. Esfuerzos en vigas debidos al presfuerzo efectivo después de pérdidas más la carga equivalente más el peso propio:  $f_{se} + w_{eq} + w_{pp}$  (MPa).

LOCALIZACIÓN	CLAROS (m)	SECCIÓN (mm)	CLARO 1	APOYO 2	CLARO 2	APOYO 3	CLARO 3
Esfuerzos a nivel del acero convencional (a 4.5 cm del cgc)	2.4 -2.4- 2.4	300 x 150	4.522	5.655	4.444	5.564	4.362
		500 x 150	3.61	4.489	3.576	4.418	3.481
	2.4 -3.6- 2.4	300 x 150	4.501	5.685	3.796	5.496	4.197
		500 x 150	3.613	4.474	3.013	4.323	3.368
Esfuerzo de compresión en el concreto en la fibra superior o inferior	2.4 -2.4- 2.4	300 x 150	0.153	-1.735	0.283	-1.584	0.248
		500 x 150	-0.528	-0.517	0.577	-1.487	0.586
	2.4 -3.6- 2.4	300 x 150	0.183	-1.79	1.127	-1.706	0.236
		500 x 150	0.519	-1.597	1.225	-1.517	0.535

Aunque existe simetría en las dimensiones de las vigas y en las cargas aplicadas durante los ensayos, los esfuerzos mostrados en las tablas 3.5 y 3.6 varían a lo largo de la longitud del elemento debido a que la fuerza de presfuerzo se aplicó desde un extremo solamente (apoyo 1) mientras que el otro extremo fue anclaje muerto (apoyo 4). La variación de la fuerza de presfuerzo y su respectiva carga equivalente se consideraron conforme a los valores de los esfuerzos indicados en los diagramas de tensado mostrados en las figuras 3.2 y 3.3 y considerando las pérdidas de presfuerzo calculadas en el apéndice B.

### **3.3 Etapa de aplicación de cargas de ensaye**

La etapa de ensaye se refiere propiamente a la aplicación de las cargas sobre las vigas en incrementos de 10.08 kN (1028 kgf), equivalentes a 100 unidades de carga para cada uno de los dos gatos hidráulicos colocados sobre el sistema de aplicación de cargas, hasta alcanzar la falla del elemento.

La información obtenida, para cada una de las 24 vigas (12 tipos de vigas en duplicado), en las zonas de momentos positivos y negativos, para cada nivel de carga aplicada en incrementos de 10.08 kN, se muestra en las tablas D.1 a D.23 del apéndice D. Estos datos adquiridos, durante los ensayos, son los siguientes:

- Deformaciones unitarias obtenidas con los medidores de deformación localizados en los cables de presfuerzo, en el acero convencional y en el concreto.
- Datos de las celdas de carga en cada uno de los cuatro apoyos de las vigas.
- Deformaciones verticales al centro de cada uno de los tres claros.
- Acortamientos elásticos longitudinales en los extremos de las vigas.

Adicionalmente, también se observó el grado de agrietamiento, incluyendo la identificación de las grietas y la obtención de los anchos de las grietas para cada nivel de carga como se muestran más adelante en las figuras 3.28 a 3.31 y en las tablas 3.7 a 3.10.

Esta información se comparó con los valores obtenidos de los procedimientos clásicos de análisis y diseño, principalmente relacionados con

los esfuerzos de los materiales, las deflexiones y los agrietamientos, con el fin de obtener parámetros para determinar el comportamiento de los elementos continuos parcialmente presforzados con cables no adheridos. Los resultados de estas comparaciones se incluyen en los siguientes puntos de este documento.

### **3.4 Relación entre las cargas actuantes y las deformaciones de las vigas**

Con la información obtenida durante los ensayos de las vigas y con lo mencionado anteriormente en la sección 3.2, con respecto a la etapa de tensado y a los valores iniciales, se determinaron los momentos flexionantes y los esfuerzos en los materiales (acero de presfuerzo, acero convencional y concreto), los cuales se indican en las tablas 3.11 a 3.22 para los tres centros de los claros y sobre los dos apoyos intermedios. Los diagramas de momentos flexionantes correspondientes, se muestran en las figuras F.1 a la F.41 para cada incremento de carga aplicada de 10.08 kN (100 unidades de cada gato hidráulico).

También, se obtuvieron las deflexiones y curvaturas para los tres centros del claro, cuya información se incluye en las tablas E.1 a E.12 del apéndice E.

Adicionalmente, con la información anterior, se obtuvieron las gráficas Momento vs. Deflexión mostradas en las figuras 3.4 a 3.15, las cuales están en función de la relación de presforzado parcial (PPR), donde se observa principalmente, que a mayor cantidad de acero convencional o menor PPR, el momento flexionante es mayor y, se muestra más claramente, a partir de que se presenta el primer agrietamiento, debido a que en las primeras etapas de carga, trabaja primordialmente la sección de concreto y, a partir de que el concreto se agrieta, el acero convencional empieza a tomar mayores esfuerzos,

por lo que al ser menor la cantidad de acero convencional, la viga tiene menor capacidad a la flexión.

En estas gráficas (figuras 3.4 a 3.15), al comparar las deflexiones que se presentan en los centros de los claros, entre la sección rectangular y la sección “U” invertida, de los diferentes tipos de vigas, existe una diferencia de hasta un 12 % para las deflexiones obtenidas en la etapa de cargas máximas, siendo mayores en algunos casos para la sección rectangular y en otros casos para la sección “U” invertida sin seguir un patrón común, por lo que también, puede mencionarse que el agrietamiento sobre los apoyos influye al evaluar las deflexiones ya que en estos casos la sección transversal agrietada sobre los apoyos es prácticamente la misma para ambos tipos de secciones.

Adicionalmente, se observa en las figuras 3.28 a 3.31, que la distribución de agrietamientos es similar al compararse las vigas con diferentes secciones transversales pero con la misma cantidad de acero convencional.

Al comparar las deflexiones para los claros exteriores mostradas en las figuras 3.4, 3.5, 3.8 a 3.11, 3.14 y 3.15, también se observa que las deflexiones difieren entre sí a pesar de que se aplicó la misma carga en ambos claros, siendo un poco menores las deflexiones del primer claro debido a que la fuerza de presfuerzo fue mayor en el extremo de tensado (claro 1) y disminuyó a un valor menor hacia el extremo de anclaje muerto (claro 3), lo que confirma que el claro cercano a este extremo de anclaje muerto, tiene menor fuerza de presfuerzo, como se indicó anteriormente mediante los diagramas de tensado de los cables (figuras 3.2 y 3.3) y, contribuye en menor medida a la rigidez en esta zona del elemento.

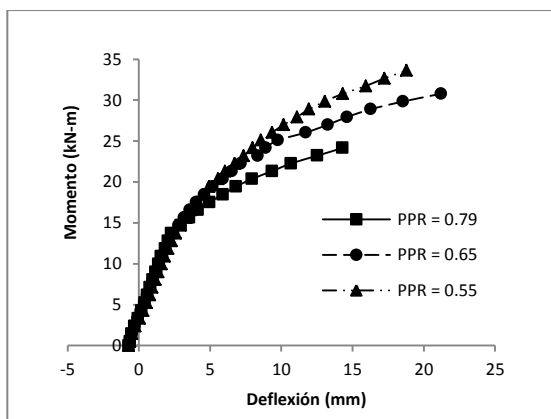


Figura 3.4. Momento vs. Deflexión, Sección 300 x 150 mm, Claro 1 (V-1, V-2 y V-3).

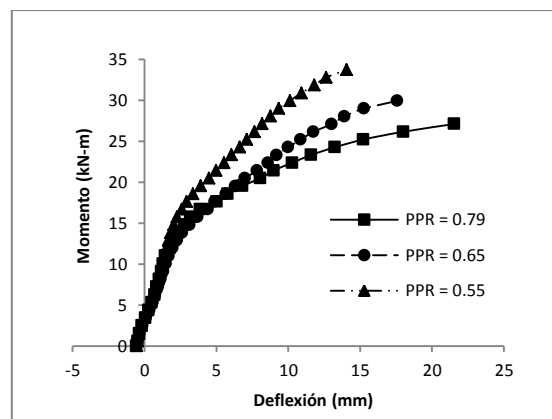


Figura 3.5. Momento vs. Deflexión, Sección 500 x 150 mm, Claro 1 (V-4, V-5 y V-6).

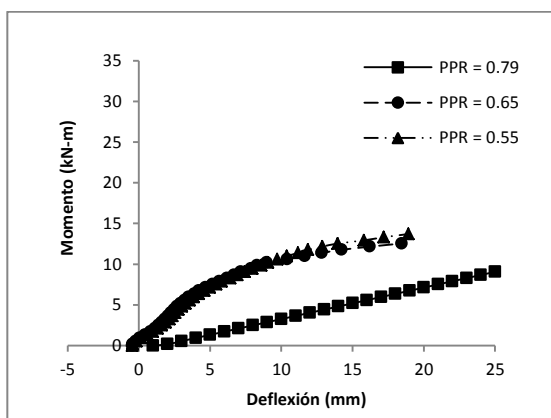


Figura 3.6. Momento vs. Deflexión, Sección 300 x 150 mm, Claro 2 (V-1, V-2 y V-3).

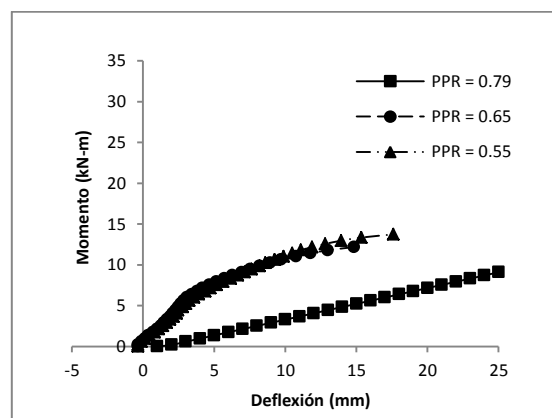


Figura 3.7. Momento vs. Deflexión, Sección 500 x 150 mm, Claro 2 (V-4, V-5 y V-6).

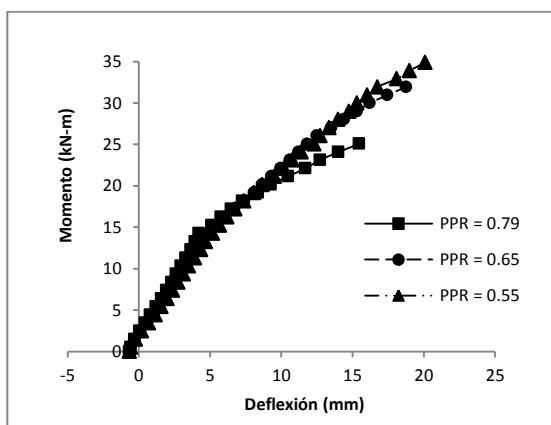


Figura 3.8. Momento vs. Deflexión, Sección 300 x 150 mm, Claro 3 (V-1, V-2 y V-3).

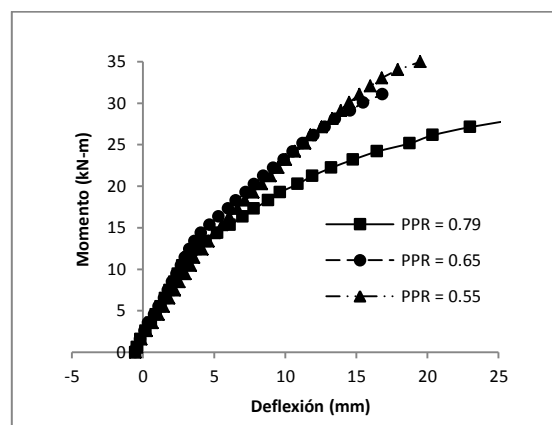


Figura 3.9. Momento vs. Deflexión, Sección 500 x 150 mm, Claro 3 (V-4, V-5 y V-6).

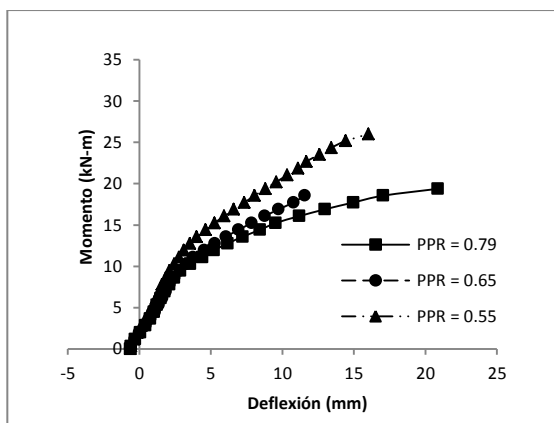


Figura 3.10. Momento vs. Deflexión, Sección 300 x 150 mm, Claro 1 (V-7, V-8 y V-9).

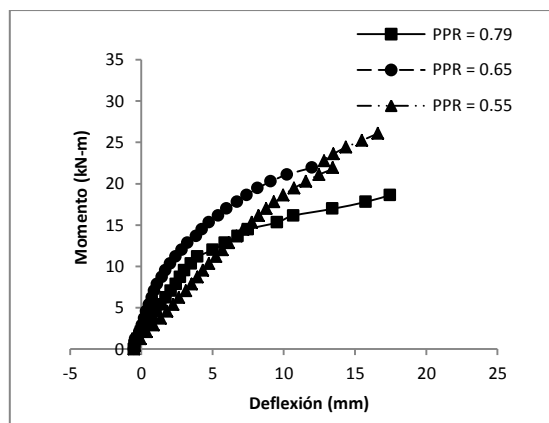


Figura 3.11. Momento vs. Deflexión, Sección 500 x 150 mm, Claro 1 (V-10, V-11 y V-12).

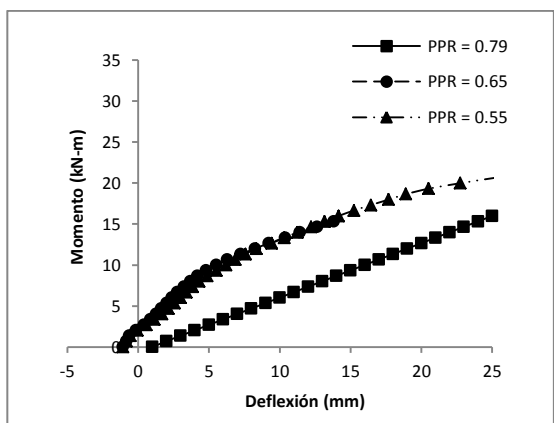


Figura 3.12. Momento vs. Deflexión, Sección 300 x 150 mm, Claro 2 (V-7, V-8 y V-9).

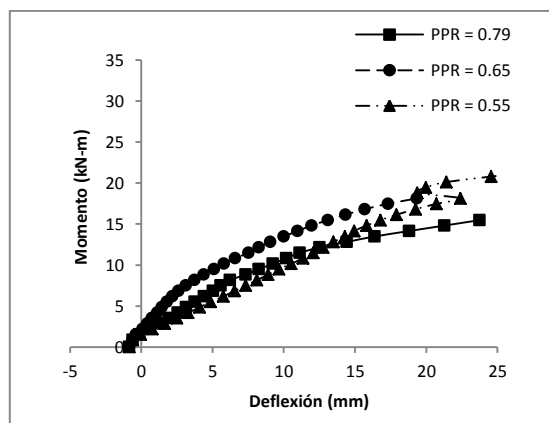


Figura 3.13. Momento vs. Deflexión, Sección 500 x 150 mm, Claro 2 (V-10, V-11 y V-12).

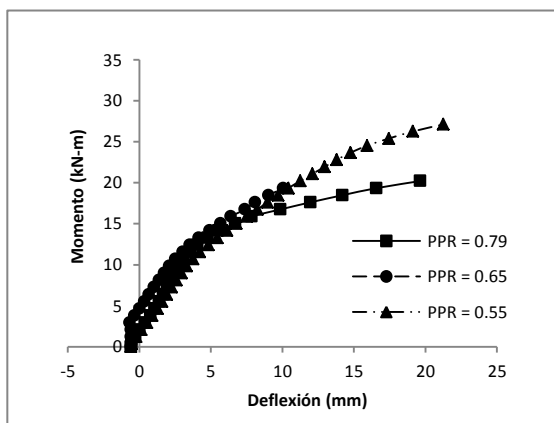


Figura 3.14. Momento vs. Deflexión, Sección 300 x 150 mm, Claro 3 (V-7, V-8 y V-9).

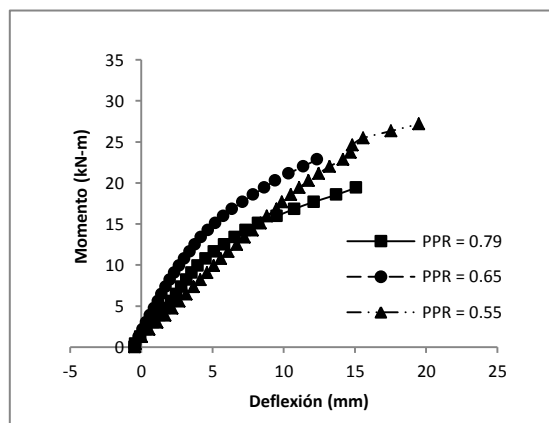


Figura 3.15. Momento vs. Deflexión, Sección 500 x 150 mm, Claro 3 (V-10, V-11 y V-12).



### 3.5 Rigidez a la flexión

Se determinaron las deflexiones teóricamente sin considerar la disminución de la rigidez de los elementos ensayados, es decir, considerando la inercia no agrietada de la sección transversal y el módulo de elasticidad del concreto obtenido de manera experimental.

Estas deflexiones teóricas se compararon con las deflexiones que se adquirieron experimentalmente durante los ensayos, considerando un factor de rigidez “ $FR$ ”, como la relación entre la deflexión experimental y la deflexión teórica, el cual varía como se ilustra en las gráficas de las figuras 3.16 a 3.27 conforme a los momentos actuantes.

En las ordenadas, de estas gráficas de las figuras 3.16 a 3.27, se indica el factor de rigidez “ $FR$ ” y, en las abscisas, se involucra la carga aplicada en función de la relación de momentos  $(M_a - M_{cr}) / (M_n - M_{cr})$ , donde el momento  $M_a$  es el momento para el cual quiere determinarse la rigidez a la flexión en cualquier etapa de carga,  $M_{cr}$  es el momento de agrietamiento que se obtuvo cuando se observó la primera grieta para cada zona en particular y,  $M_n$  es el momento máximo a la flexión que se determinó cuando se alcanzó por primera vez el esfuerzo de fluencia en el acero convencional para dicha zona (véase tablas E.1 a E.12 y I.1 a I.12 de los apéndices E e I).

En estas mismas gráficas (figuras 3.16 a 3.27) se incluyeron las líneas de tendencia desde el inicio del agrietamiento hasta la aplicación de la carga que produjo el inicio del límite de fluencia en el acero de refuerzo convencional. La correlación de estas líneas rectas varió de 0.94 a 0.99, lo cual indica que es adecuado considerar un comportamiento lineal para estimar la disminución de la rigidez de las vigas ensayadas.

En general, la pendiente de estas líneas rectas, en una misma zona de las vigas, es similar para las tres diferentes relaciones de presforzado parcial (PPR) y, también, se observa que la disminución de la rigidez varía desde un 55 % hasta un 72 % con relación al valor de la rigidez de la sección transversal no agrietada dependiendo del tipo de viga.

En algunos casos, aunque en menor grado, también se presentó la disminución de la rigidez en ausencia de grietas a los centros del claro pero con agrietamientos sobre los apoyos.

Específicamente, el valor de la rigidez " $FR$ ", con respecto a las secciones de concreto sin agrietar, e independientemente del tipo de sección transversal, disminuye en promedio, para claros exteriores hasta el 45 % y, para los claros interiores hasta el 72 %.

En estas gráficas no se alcanza a apreciar la diferencia en la disminución de la rigidez entre los claros exteriores 1 y 3 debido a que estas gráficas se obtuvieron involucrando el momento de agrietamiento y el momento resistente a la flexión que se presentaron para cada zona particular de las vigas ensayadas.

Con respecto a lo discutido anteriormente y conforme a las figuras 3.16 a 3.27, la relación entre la disminución de la rigidez de los elementos parcialmente presforzados con cables no adheridos, considerando las inercias no agrietada y agrietada de su sección transversal, el grado de agrietamiento y la relación de presforzado parcial (PPR), implícita en el momento máximo a la flexión ( $M_n$ ), se propuso la ecuación 3.1 para determinar el factor de rigidez " $FR$ ".

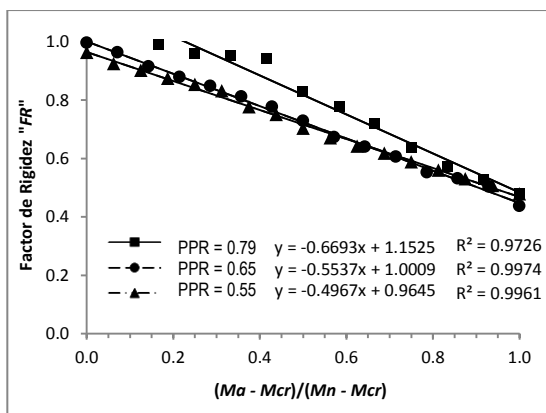


Figura 3.16. Gráfica "FR" vs.  $(M_a - M_{cr}) / (M_n - M_{cr})$ , Secc. 300 x 150 mm, Claro 1 (V-1, V-2 y V-3).

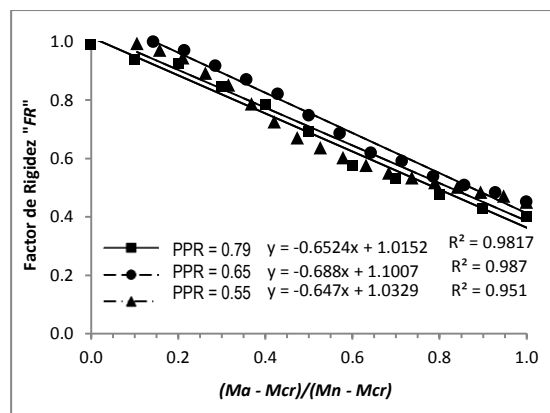


Figura 3.17. Gráfica "FR" vs.  $(M_a - M_{cr}) / (M_n - M_{cr})$ , Secc. 500 x 150 mm, Claro 1 (V-4, V-5 y V-6).

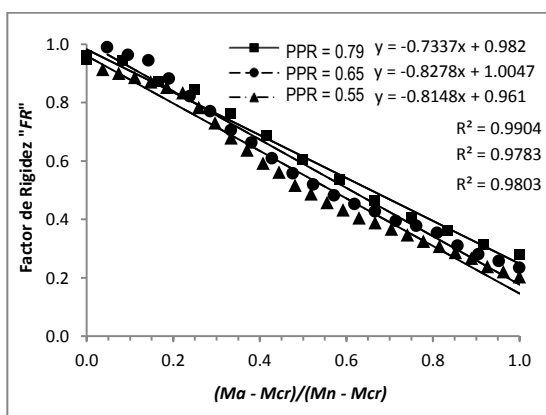


Figura 3.18. Gráfica "FR" vs.  $(M_a - M_{cr}) / (M_n - M_{cr})$ , Secc. 300 x 150 mm, Claro 2 (V-1, V-2 y V-3).

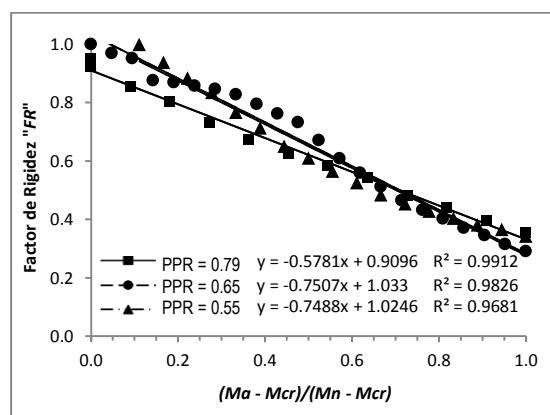


Figura 3.19. Gráfica "FR" vs.  $(M_a - M_{cr}) / (M_n - M_{cr})$ , Secc. 500 x 150 mm, Claro 2 (V-4, V-5 y V-6).

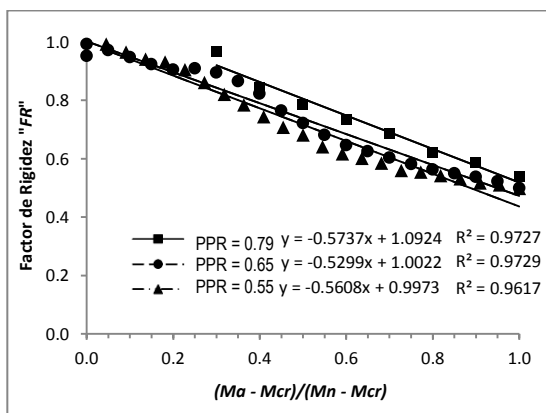


Figura 3.20. Gráfica "FR" vs.  $(M_a - M_{cr}) / (M_n - M_{cr})$ , Secc. 300 x 150 mm, Claro 3 (V-1, V-2 y V-3).

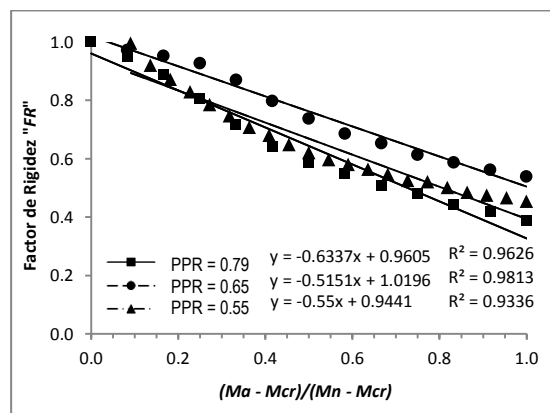


Figura 3.21. Gráfica "FR" vs.  $(M_a - M_{cr}) / (M_n - M_{cr})$ , Secc. 500 x 150 mm, Claro 3 (V-4, V-5 y V-6).

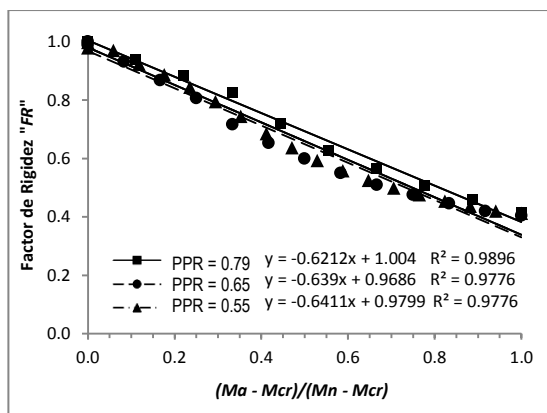


Figura 3.22. Gráfica "FR" vs.  $(M_a - M_{cr})/(M_n - M_{cr})$ , Secc. 300 x 150 mm, Claro 1 (V-7, V-8 y V-9).

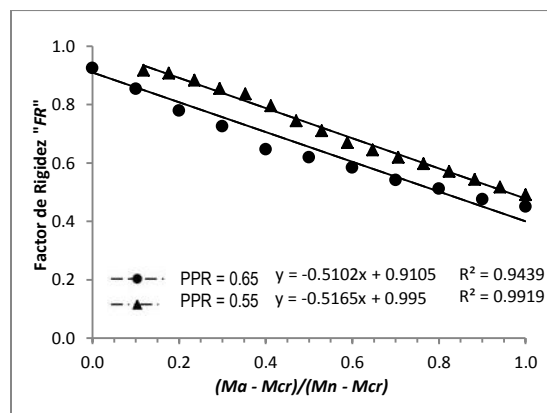


Figura 3.23. Gráfica "FR" vs.  $(M_a - M_{cr})/(M_n - M_{cr})$ , 500 x 150 mm, Claro 1 (V-10, V-11 y V-12).

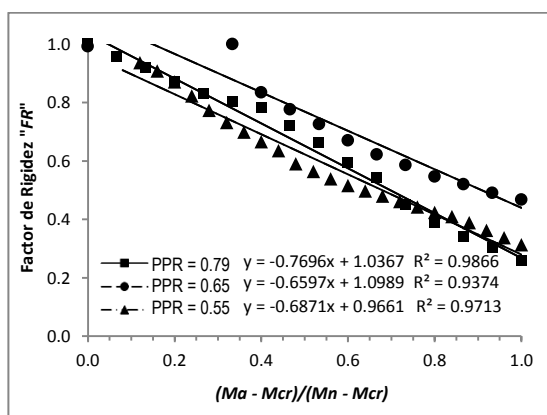


Figura 3.24. Gráfica "FR" vs.  $(M_a - M_{cr})/(M_n - M_{cr})$ , Secc. 300 x 150 mm, Claro 2 (V-7, V-8 y V-9).

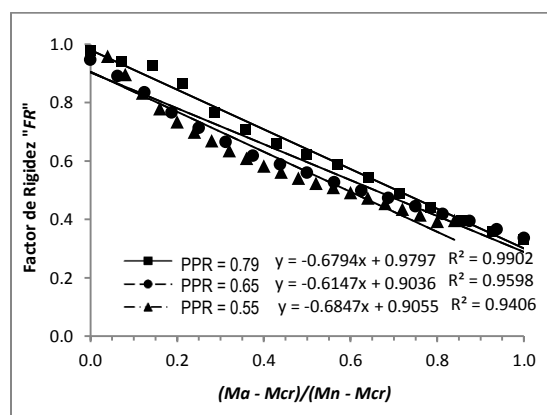


Figura 3.25. Gráfica "FR" vs.  $(M_a - M_{cr})/(M_n - M_{cr})$ , 500 x 150 mm, Claro 2 (V-10, V-11 y V-12).

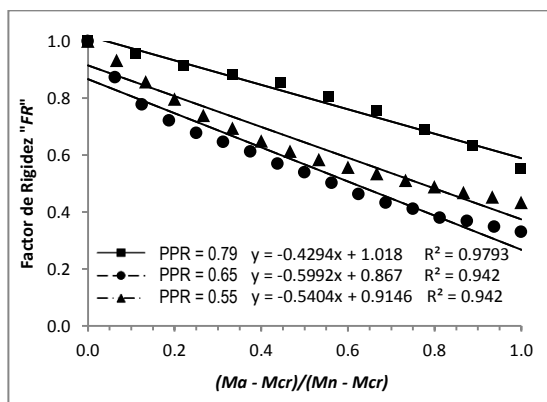


Figura 3.26. Gráfica "FR" vs.  $(M_a - M_{cr})/(M_n - M_{cr})$ , Secc. 300 x 150 mm, Claro 3 (V-7, V-8 y V-9).

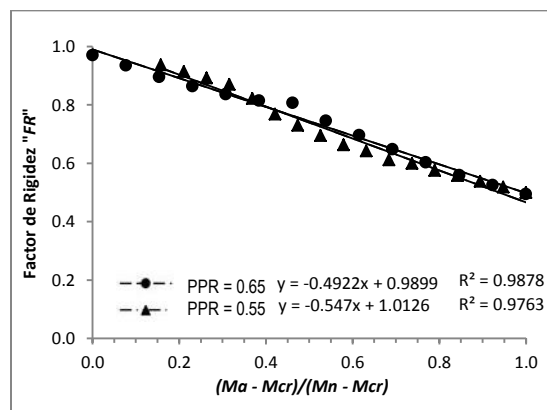


Figura 3.27. Gráfica "FR" vs.  $(M_a - M_{cr})/(M_n - M_{cr})$ , 500 x 150 mm, Claro 3 (V-10, V-11 y V-12).

En esta ecuación, la multiplicación de los términos entre paréntesis que involucran los momentos y las inercias, representan la pendiente de la recta en las gráficas anteriores y el valor unitario representa la rigidez “ $FR$ ” al inicio del agrietamiento de la sección transversal al centro del claro considerado. La ecuación propuesta, para determinar el valor de rigidez ( $FR$ ), es la siguiente:

$$FR = \left[ 1 - \left( \frac{M_a - M_{cr}}{M_n - M_{cr}} \right) \left( 1 - \frac{I_{cr}}{I_g} \right) \right] \quad (3.1)$$

donde;

$FR$  = factor de rigidez en función del módulo de elasticidad del concreto ( $E_c$ ) y de la inercia no agrietada ( $I_g$ ).

$M_a$  = Momento actuante en la etapa que se quiere determinar la deflexión.

$M_{cr}$  = momento de agrietamiento obtenido durante la aplicación de las cargas de ensaye.

$M_n$  = Momento máximo resistente a la flexión.

$I_g$  = Inercia no agrietada de la sección transversal.

$I_{cr}$  = Inercia de la sección transformada agrietada.

Además, en la expresión anterior se está considerando que el factor de rigidez mínimo de cualquier sección transversal en función de “ $E$ ” es, en el instante en que se presenta por primera vez el esfuerzo en el límite de fluencia en el acero convencional, el cual también es congruente con el momento máximo involucrado, sin embargo, la rigidez sigue disminuyendo con la aplicación de cargas adicionales, pero para fines de estimación de las deflexiones, la ecuación sería válida desde del inicio del agrietamiento hasta que se alcanza el inicio de la fluencia en el acero de refuerzo convencional.

Debido a que la ecuación 3.1 involucra el momento resistente a la flexión, que se determina con el esfuerzo en el límite de fluencia del acero convencional, presente en la viga y del cual, también depende la relación de presforzado parcial y el momento de agrietamiento, esta ecuación sería válida para relaciones de PPR de 0.55 a 0.79 y relaciones claro-peralte entre 16 y 24, conforme a las vigas ensayadas y a los resultados obtenidos en esta investigación.

También se elaboraron los diagramas momento-curvatura (figuras H.1 a H.12 del apéndice H) considerando los criterios anteriores, es decir, considerando los momentos flexionantes obtenidos de la geometría de las vigas y de las cargas aplicadas, tomando en cuenta el módulo de elasticidad del concreto obtenido de los ensayos y la inercia no agrietada de la sección transversal al centro del claro multiplicándose por el factor de rigidez indicado en las figuras 3.16 a 3.27.

### **3.6 Anchos de grietas y distribución de agrietamientos**

Se obtuvo la información de los agrietamientos que se presentaron durante los ensayos de las vigas, la cual se muestra en las figuras 3.28 a 3.31. La información mostrada en estas figuras corresponde a la información representativa de los resultados obtenidos de los 12 tipos de vigas en donde se muestra solamente media elevación de las vigas para observar con mayor claridad esta información además de que la distribución de agrietamientos es similar en ambos lados de las vigas. En estas figuras, el número de las grietas se indica por fuera del perímetro que delimita el contorno de las vigas y, también, a un lado de cada grieta, se identifica el número del nivel de carga aplicada conforme al crecimiento de cada grieta.



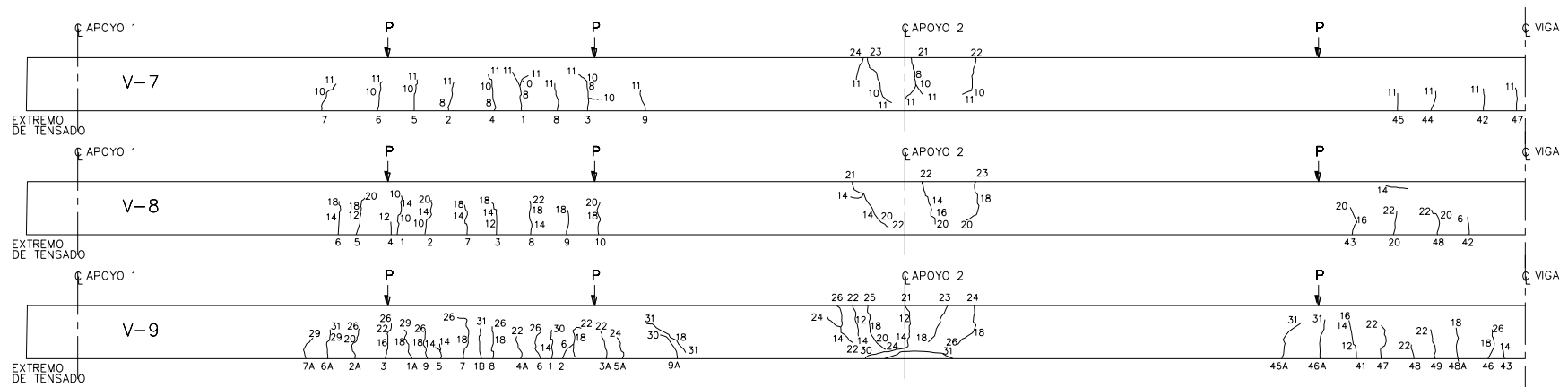


Figura 3.30. Localización típica de grietas en vigas V-7, V-8 y V-9 (300 x 150 mm). Media elevación lado izquierdo.

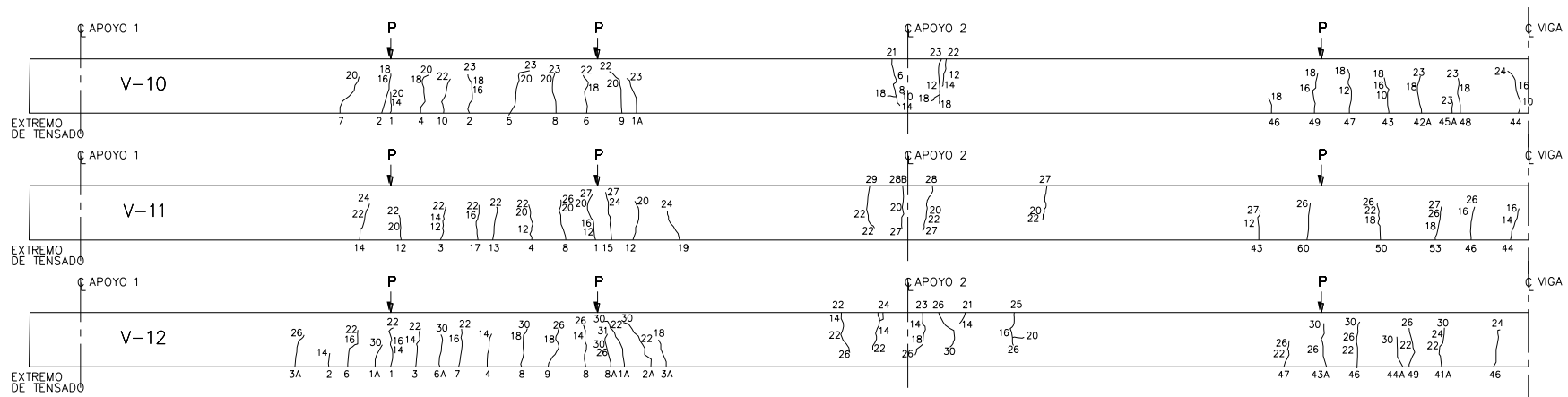


Figura 3.31. Localización típica de grietas en vigas V-10, V-11 y V-12 (500 x 150 mm). Media elevación lado izquierdo.



Los anchos de grieta se registraron para los diferentes niveles de carga (para cada incremento de 10.08 kN), sin embargo, en las tablas 3.7 a 3.10, se muestran los anchos de grieta representativos de los tres centros del claro y de los dos apoyos interiores, es decir, se incluye la información de las grietas con mayor ancho y con mayor longitud para cada zona en particular.

En las figuras de distribución de agrietamientos (figuras 3.28 a 3.31), se observa que la separación de las grietas disminuye a medida que disminuye la relación de presforzado parcial (PPR), es decir que a mayor cantidad de acero convencional, es menor la separación de grietas y también puede observarse que la cantidad de grietas es mayor a medida que disminuye la PPR.

La distancia promedio entre grietas que se obtuvo, para el caso de las zonas de momento positivo, fue de 95 mm para  $PPR = 0.79$ , de 83 mm para  $PPR = 0.65$  y de 66 mm para  $PPR = 0.55$  y, para el caso de las zonas de momento negativo, fue de 58 mm para  $PPR = 0.79$ , de 53 mm para  $PPR = 0.65$  y de 47 mm para  $PPR = 0.55$ .

Esta situación, también se puede analizar con las figuras 3.4 a 3.15, en donde para un mismo momento actuante se tiene una mayor deflexión a medida que se tiene una mayor PPR y se confirma que entre mayor sea el espaciamiento entre grietas en una misma longitud de viga habrá mayores deflexiones.

Con base a estos resultados se realizaron gráficas de Momento vs. Ancho de grieta (figuras 3.32 a 3.43) en donde se observa el inicio del agrietamiento para un momento entre 10 y 15 kN-m para los claros exteriores, entre 15 y 20 kN-m sobre los apoyos interiores y entre 5 y 10 kN-m para los claros interiores. En todos los casos, se aprecia que el ancho de grieta es mayor cuando la PPR es más grande, es decir cuando existe menor cantidad de acero convencional adherido.

Tabla 3.7. Anchos de grieta medidos durante los ensayos de las vigas V-1, V-2 y V-3 (mm).

ETAPA DE CARGA	CARGA TOTAL (kN)	V-1 (PPR = 0.79)					V-2 (PPR = 0.65)					V-3 (PPR = 0.55)				
		CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	20.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	30.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	40.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	50.42	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
6	60.51	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
7	70.59	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
8	80.68	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00
9	90.76	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.03	0.01	0.00	0.01
10	100.85	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.04	0.02	0.00	0.01
11	110.93	0.01	0.04	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.05	0.02	0.00	0.01
12	121.02	0.02	0.06	0.00	0.01	0.01	0.00	0.03	0.03	0.00	0.02	0.00	0.06	0.02	0.01	0.01
13	131.10	0.02	0.09	0.01	0.02	0.02	0.01	0.05	0.03	0.01	0.03	0.00	0.08	0.02	0.02	0.02
14	141.19	0.03	0.11	0.01	0.03	0.03	0.01	0.07	0.04	0.01	0.03	0.00	0.10	0.02	0.02	0.03
15	151.27	0.07	0.13	0.02	0.07	0.04	0.02	0.10	0.04	0.02	0.03	0.00	0.13	0.03	0.03	0.03
16	161.35	0.11	0.14	0.03	0.11	0.05	0.02	0.12	0.05	0.02	0.04	0.01	0.15	0.04	0.05	0.03
17	171.44	0.13	0.20	0.04	0.23	0.07	0.02	0.14	0.05	0.04	0.05	0.01	0.16	0.06	0.07	0.04
18	181.52	0.14	0.25	0.05	0.35	0.08	0.03	0.16	0.05	0.06	0.05	0.01	0.17	0.08	0.09	0.04
19	191.61	0.16	0.35	0.05	0.49	0.10	0.03	0.17	0.06	0.09	0.06	0.02	0.21	0.10	0.10	0.05
20	201.69	0.18	0.45	0.06	0.63	0.12	0.04	0.18	0.06	0.12	0.06	0.03	0.24	0.11	0.12	0.05
21	211.78	0.22	0.64	0.07	0.75	0.15	0.06	0.23	0.09	0.14	0.07	0.03	0.28	0.13	0.14	0.06
22	221.86	0.25	0.82	0.08	0.86	0.18	0.09	0.27	0.11	0.17	0.08	0.04	0.32	0.15	0.17	0.08
23	231.95	0.30	1.01	0.12	1.13	0.22	0.09	0.33	0.14	0.19	0.09	0.04	0.34	0.16	0.19	0.09
24	242.03	0.35	1.20	0.16	1.40	0.25	0.10	0.39	0.16	0.21	0.10	0.05	0.37	0.18	0.21	0.10
25	252.12	0.93	2.70	0.34	2.04	0.40	0.11	0.61	0.20	0.31	0.10	0.06	0.38	0.20	0.26	0.12
26	262.20						0.12	0.82	0.24	0.41	0.11	0.07	0.40	0.21	0.32	0.14
27	272.29						0.13	1.04	0.28	0.50	0.11	0.08	0.43	0.23	0.37	0.15
28	282.37						0.14	1.25	0.31	0.60	0.12	0.09	0.47	0.25	0.42	0.17
29	292.46						0.15	1.65	0.33	0.69	0.13	0.10	0.55	0.28	0.52	0.18
30	302.54						0.16	2.05	0.34	0.78	0.14	0.12	0.64	0.31	0.63	0.18
31	312.63						0.19	2.66	0.46	1.08	0.15	0.15	0.72	0.33	0.73	0.19
32	322.71						0.22	3.27	0.57	1.37	0.16	0.18	0.80	0.36	0.83	0.19
33	332.79											0.20	1.09	0.42	1.03	0.21
34	342.88											0.23	1.37	0.49	1.22	0.23
35	352.96											0.26	1.65	0.55	1.41	0.25

Tabla 3.8. Anchos de grieta medidos durante los ensayos de las vigas V-4, V-5 y V-6 (mm).

ETAPA DE CARGA	CARGA TOTAL (kN)	V-4 (PPR = 0.79)					V-5 (PPR = 0.65)					V-6 (PPR = 0.55)				
		CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	20.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	30.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	40.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	50.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	60.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	70.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	80.68	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	90.76	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
10	100.85	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
11	110.93	0.00	0.00	0.03	0.02	0.02	0.01	0.03	0.03	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02
12	121.02	0.01	0.01	0.04	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.00	0.03	0.00	0.03
13	131.10	0.01	0.02	0.06	0.05	0.07	0.03	0.04	0.04	0.02	0.03	0.01	0.01	0.04	0.00	0.04
14	141.19	0.03	0.03	0.07	0.07	0.11	0.04	0.06	0.04	0.04	0.03	0.01	0.01	0.05	0.02	0.05
15	151.27	0.04	0.10	0.10	0.16	0.13	0.05	0.08	0.05	0.05	0.03	0.01	0.02	0.06	0.03	0.05
16	161.35	0.05	0.17	0.13	0.24	0.15	0.06	0.10	0.06	0.07	0.05	0.02	0.04	0.08	0.03	0.06
17	171.44	0.07	0.27	0.15	0.35	0.17	0.07	0.18	0.07	0.11	0.05	0.02	0.05	0.10	0.04	0.07
18	181.52	0.09	0.36	0.18	0.45	0.19	0.09	0.25	0.09	0.15	0.06	0.02	0.06	0.12	0.06	0.08
19	191.61	0.11	0.53	0.20	0.55	0.22	0.10	0.33	0.13	0.16	0.08	0.02	0.07	0.14	0.08	0.08
20	201.69	0.13	0.70	0.22	0.65	0.25	0.11	0.41	0.17	0.17	0.09	0.02	0.09	0.17	0.10	0.09
21	211.78	0.18	0.87	0.27	0.89	0.31	0.12	0.49	0.20	0.22	0.11	0.03	0.10	0.18	0.11	0.09
22	221.86	0.23	1.04	0.32	1.13	0.38	0.13	0.55	0.23	0.27	0.12	0.04	0.12	0.20	0.12	0.10
23	231.95	0.28	1.39	0.33	1.50	0.43	0.14	0.60	0.24	0.31	0.13	0.05	0.14	0.21	0.14	0.11
24	242.03	0.33	1.73	0.34	1.88	0.48	0.15	0.65	0.25	0.36	0.14	0.06	0.17	0.22	0.16	0.12
25	252.12	0.54	2.17	0.45	2.53	0.54	0.16	0.70	0.26	0.40	0.15	0.06	0.20	0.24	0.19	0.13
26	262.20	0.81	2.60	0.60	3.27	0.61	0.17	0.75	0.27	0.44	0.16	0.07	0.23	0.26	0.23	0.14
27	272.29	1.08	3.02	0.75	4.01	0.68	0.24	0.91	0.31	0.55	0.19	0.08	0.28	0.27	0.30	0.15
28	282.37	1.35	3.45	0.90	4.75	0.75	0.31	1.08	0.35	0.65	0.22	0.09	0.32	0.29	0.37	0.17
29	292.46						0.38	1.22	0.38	0.79	0.25	0.10	0.40	0.31	0.43	0.18
30	302.54						0.46	1.37	0.42	0.93	0.28	0.11	0.47	0.33	0.50	0.20
31	312.63						0.60	1.88	0.44	1.20	0.35	0.11	0.56	0.37	0.53	0.21
32	322.71											0.12	0.66	0.40	0.57	0.23
33	332.79											0.14	0.85	0.49	0.72	0.26
34	342.88											0.17	1.05	0.58	0.88	0.29
35	352.96											0.19	1.21	0.74	1.11	0.36

Tabla 3.9. Anchos de grieta medidos durante los ensayos de las vigas V-7, V-8 y V-9 (mm).

ETAPA DE CARGA	CARGA TOTAL (kN)	V-7 (PPR = 0.79)					V-8 (PPR = 0.65)					V-9 (PPR = 0.55)				
		CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	20.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	30.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	40.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	50.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	60.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
7	70.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
8	80.68	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00
9	90.76	0.00	0.03	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00
10	100.85	0.00	0.04	0.00	0.06	0.00	0.02	0.00	0.04	0.06	0.00	0.01	0.03	0.03	0.00	0.00
11	110.93	0.00	0.06	0.00	0.09	0.00	0.03	0.00	0.05	0.08	0.00	0.01	0.03	0.04	0.00	0.00
12	121.02	0.00	0.07	0.00	0.11	0.00	0.03	0.02	0.05	0.09	0.02	0.02	0.03	0.06	0.02	0.01
13	131.10	0.00	0.12	0.00	0.21	0.00	0.04	0.03	0.07	0.11	0.03	0.02	0.04	0.06	0.04	0.02
14	141.19	0.02	0.16	0.02	0.30	0.02	0.04	0.04	0.08	0.12	0.03	0.02	0.05	0.07	0.05	0.03
15	151.27	0.06	0.30	0.07	0.43	0.04	0.05	0.11	0.10	0.15	0.05	0.02	0.07	0.09	0.07	0.04
16	161.35	0.09	0.43	0.12	0.55	0.06	0.06	0.18	0.12	0.18	0.06	0.04	0.09	0.10	0.09	0.05
17	171.44	0.11	0.54	0.17	0.63	0.09	0.07	0.23	0.15	0.24	0.07	0.04	0.13	0.13	0.11	0.05
18	181.52	0.13	0.64	0.22	0.71	0.12	0.08	0.28	0.18	0.30	0.08	0.05	0.16	0.15	0.12	0.06
19	191.61	0.16	0.71	0.23	0.80	0.16	0.09	0.41	0.19	0.31	0.09	0.05	0.22	0.17	0.14	0.07
20	201.69	0.18	0.78	0.24	0.89	0.19	0.10	0.54	0.20	0.32	0.10	0.06	0.27	0.18	0.17	0.07
21	211.78	0.40	1.05	0.28	1.69	0.22	0.11	0.56	0.25	0.46	0.11	0.06	0.29	0.22	0.20	0.09
22	221.86	0.62	1.32	0.31	2.48	0.25	0.12	0.58	0.30	0.60	0.12	0.06	0.31	0.25	0.23	0.11
23	231.95	0.81	2.50	0.35	3.70	0.50						0.06	0.35	0.26	0.29	0.11
24	242.03											0.07	0.38	0.27	0.36	0.12
25	252.12											0.07	0.42	0.28	0.44	0.12
26	262.20											0.07	0.45	0.29	0.52	0.13
27	272.29											0.08	0.52	0.31	0.67	0.18
28	282.37											0.08	0.60	0.33	0.82	0.22
29	292.46											0.09	0.66	0.35	0.97	0.27
30	302.54											0.09	0.87	0.37	1.05	0.30
31	312.63											0.10	1.10	0.38	1.25	0.45

Tabla 3.10. Anchos de grieta medidos durante los ensayos de las vigas V-10, V-11 y V-12 (mm).

ETAPA DE CARGA	CARGA TOTAL (kN)	V-10 (PPR = 0.79)					V-11 (PPR = 0.65)					V-12 (PPR = 0.55)				
		CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	20.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	30.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	40.34	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	50.42	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	60.51	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
7	70.59	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
8	80.68	0.01	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00
9	90.76	0.02	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.01	0.00	0.02	0.04	0.00	0.01
10	100.85	0.02	0.17	0.03	0.02	0.01	0.00	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.05	0.01	0.01
11	110.93	0.04	0.23	0.04	0.03	0.03	0.00	0.04	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.06	0.02	0.02
12	121.02	0.06	0.29	0.04	0.04	0.04	0.02	0.06	0.02	0.05	0.02	0.02	0.03	0.08	0.03	0.02
13	131.10	0.09	0.40	0.07	0.13	0.06	0.05	0.07	0.03	0.09	0.02	0.03	0.04	0.08	0.03	0.02
14	141.19	0.13	0.50	0.09	0.21	0.08	0.07	0.08	0.05	0.12	0.03	0.04	0.05	0.09	0.04	0.04
15	151.27	0.16	0.62	0.11	0.34	0.10	0.10	0.12	0.07	0.15	0.03	0.05	0.07	0.10	0.07	0.04
16	161.35	0.18	0.73	0.12	0.47	0.12	0.12	0.16	0.10	0.18	0.04	0.07	0.08	0.11	0.09	0.05
17	171.44	0.27	0.94	0.13	0.59	0.14	0.14	0.19	0.14	0.23	0.04	0.07	0.11	0.13	0.11	0.05
18	181.52	0.35	1.15	0.14	0.70	0.15	0.15	0.22	0.18	0.28	0.05	0.07	0.13	0.15	0.12	0.06
19	191.61	0.38	1.88	0.19	0.86	0.23	0.19	0.27	0.19	0.31	0.07	0.10	0.16	0.18	0.14	0.09
20	201.69	0.41	2.60	0.24	1.01	0.30	0.22	0.31	0.20	0.34	0.09	0.13	0.19	0.21	0.17	0.12
21	211.78	0.66	3.80	0.27	1.48	0.45	0.25	0.32	0.20	0.38	0.12	0.15	0.22	0.24	0.19	0.14
22	221.86	0.90	5.00	0.30	1.95	0.60	0.27	0.33	0.21	0.42	0.15	0.17	0.25	0.28	0.21	0.15
23	231.95						0.34	0.50	0.23	0.47	0.18	0.19	0.45	0.31	0.43	0.17
24	242.03						0.40	0.66	0.24	0.52	0.21	0.21	0.65	0.34	0.65	0.19
25	252.12						0.47	0.78	0.31	0.69	0.29	0.23	0.85	0.48	0.87	0.22
26	262.20						0.53	0.90	0.37	0.86	0.37	0.25	1.04	0.62	1.05	0.25
27	272.29											0.28	1.28	0.78	1.30	0.30
28	282.37											0.30	1.36			0.32
29	292.46											0.32	1.44			0.33
30	302.54											0.34	1.52			0.35
31	312.63											0.36	1.60		1.60	0.36

En las figuras 3.32 a 3.43, se aprecia que los anchos de grieta, para un mismo momento, fueron ligeramente mayores para la sección “U” invertida que para la sección rectangular en todas las zonas de las vigas, sin embargo, para la etapa de carga máxima de falla, se desarrollaron anchos de grieta mayores en la sección “U” invertida en los centros de los claros debido a que esta sección de concreto tiene un ancho a compresión de 500 mm y la ubicación de su eje neutro se localiza a una distancia mayor con respecto a la fibra de tensión comparada con la viga de sección rectangular cuyo ancho es de 300 mm y, de manera contraria, sobre los apoyos los anchos de grieta fueron mayores para la sección rectangular debido a que en esta zona, el ancho de concreto a tensión es mayor para la sección “U” invertida (500 mm).

También se observó que para la zona de los apoyos, para la etapa de la máxima carga aplicada sobre las vigas, el ancho de grieta fue mucho mayor (hasta 3.6 mm) con respecto al ancho de grieta de los centros de los claros (hasta 1.2 mm) debido a que, en general los momentos que se presentan sobre los apoyos también son mayores con respecto a los momentos a los centros de los claros, por lo que puede considerarse que los anchos de grieta se relacionan directamente con la sección transversal y con el momento que se presenta para cada zona en particular.

A partir de esta información se realizó una analogía con expresiones empíricas (Meier et. al., 1981) que consideran las deformaciones unitarias en el concreto en la zona de tensión y adicionalmente, para la presente investigación, se tomó en cuenta las deformaciones de compresión en el concreto y de tensión en el acero convencional obtenidas de los ensayos, para cada sección en particular (véase tablas I.1 a I.12 del Apéndice I) y, de esta manera se propuso la siguiente ecuación para determinar el ancho de grieta.

$$\omega = K_w [(\varepsilon_{ct} - \varepsilon_{cr}) \cdot \sqrt[3]{d_c A_b \cdot PPR}] \quad (3.2)$$

donde;

$\omega$  = ancho de grieta en mm.

$\varepsilon_{ct}$  = deformación unitaria en la fibra de tensión del concreto para la etapa en la cual se determina el ancho de grieta, obtenida en base a la compatibilidad de deformaciones unitarias entre el concreto y el acero convencional.

$\varepsilon_{cr}$  = deformación unitaria en la fibra extrema de tensión del concreto en instante del agrietamiento ( $= 2\sqrt{f'_c}/E_c$ ), calculada con la resistencia a la compresión  $f'_c$  y el Módulo de Elasticidad  $E_c$  del concreto que se obtuvieron experimentalmente.

$d_c$  = localización del centroide del acero convencional desde la fibra en tensión.

$A_b$  = área de tensión del refuerzo incluido en la sección transversal =  $2 d_c b$ .

$PPR$  = Relación de presforzado parcial.

$K_w$  = 1.3 para zonas de momento positivo y 2.2 para zonas de momento negativo.

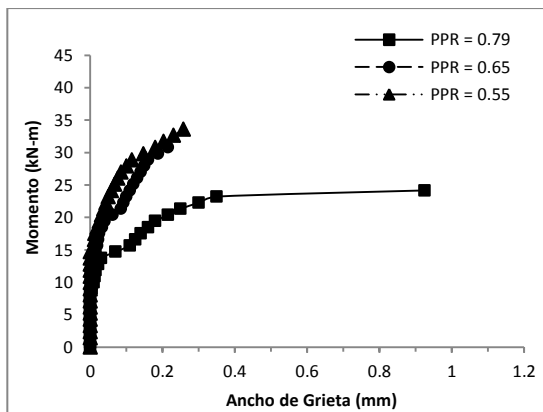


Figura 3.32. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta, Sección de 300 x 150 mm, Claro Exterior (V-1, V-2 y V-3).

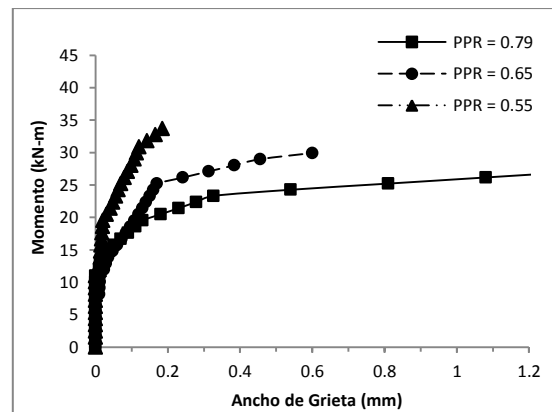


Figura 3.33. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta, Sección de 500 x 150 mm, Claro Exterior (V-4, V-5 y V-6).

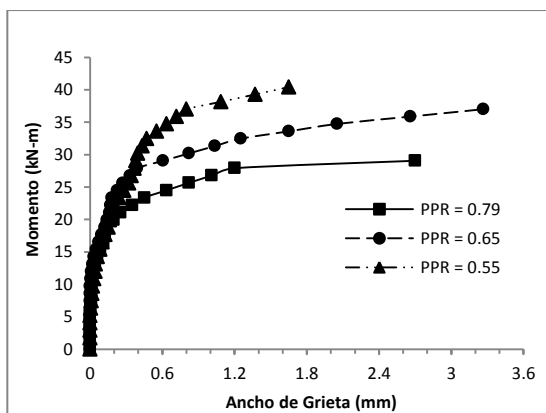


Figura 3.34. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta, Sección de 300 x 150 mm, Apoyo Interior (V-1, V-2 y V-3).

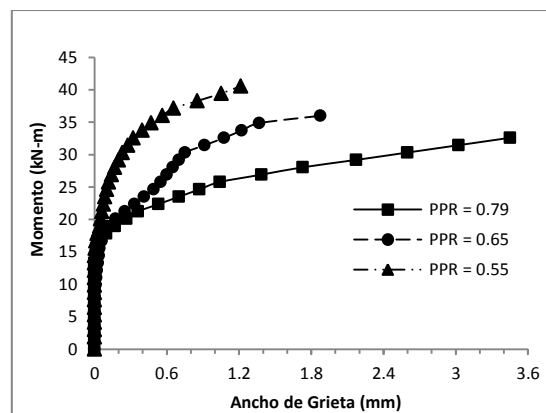


Figura 3.35. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta, Sección de 500 x 150 mm, Apoyo Interior (V-4, V-5 y V-6).

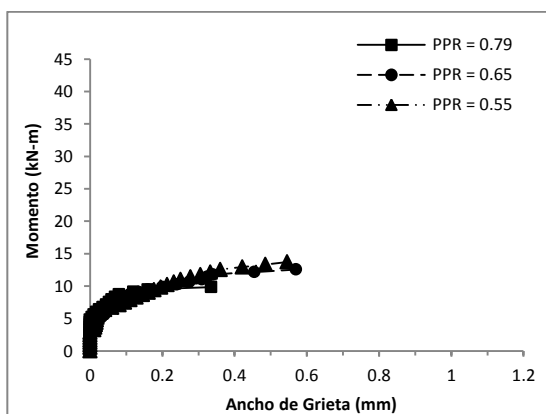


Figura 3.36. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta, Sección de 300 x 150 mm, Claro Interior (V-1, V-2 y V-3).

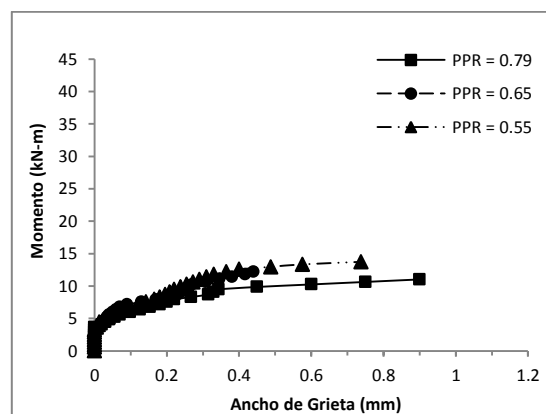


Figura 3.37. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta, Sección de 500 x 150 mm, Claro Interior (V-4, V-5 y V-6).

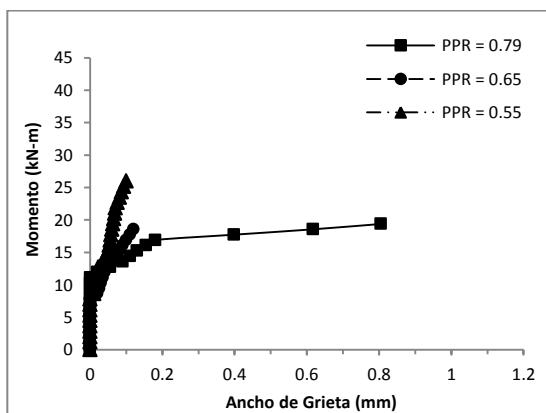


Figura 3.38. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta, Sección de 300 x 150 mm, Claro Exterior (V-7, V-8 y V-9).

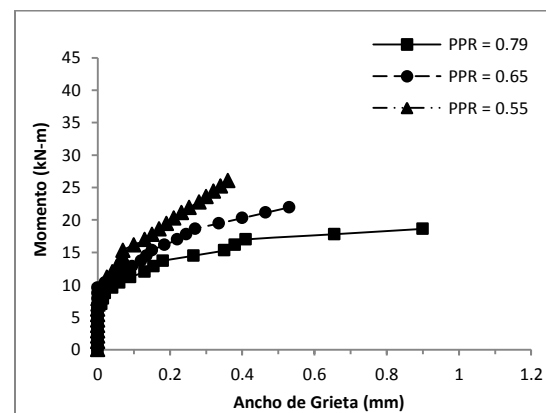


Figura 3.39. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta, Sección de 500 x 150 mm, Claro Exterior (V-10, V-11 y V-12).



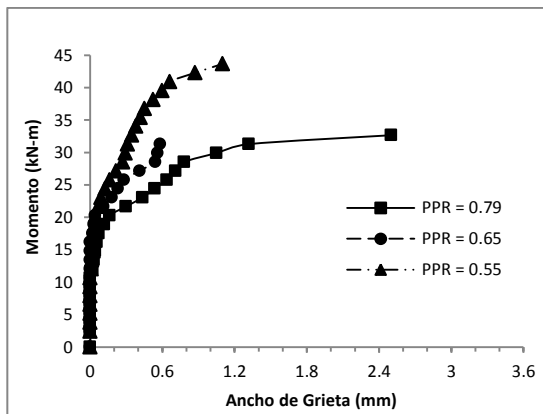


Figura 3.40. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta, Sección de 300 x 150 mm, Apoyo Interior (V-7, V-8 y V-9).

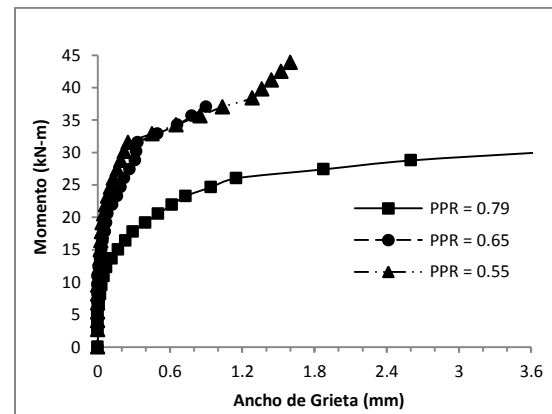


Figura 3.41. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta, Sección de 500 x 150 mm, Apoyo Interior (V-10, V-11 y V-12).

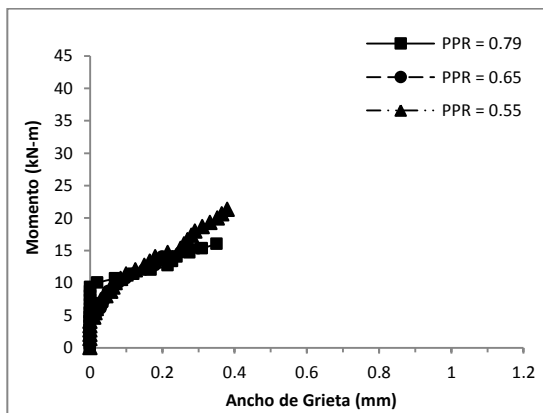


Figura 3.42. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta, Sección de 300 x 150 mm, Claro Interior (V-7, V-8 y V-9).

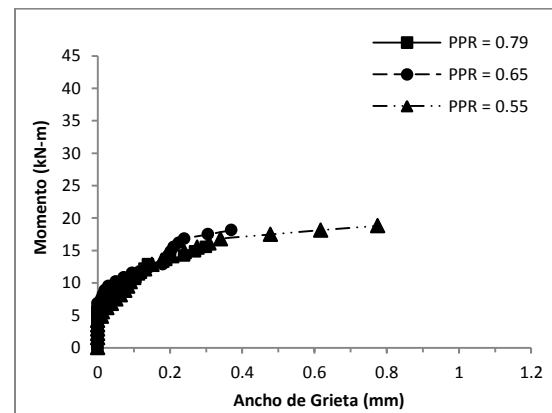


Figura 3.43. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta, Sección de 500 x 150 mm, Claro Interior (V-10, V-11 y V-12).

Para la ecuación anterior se tomó en cuenta el recubrimiento ( $d_c$ ) y el área de la zona de tensión del refuerzo incluido en la sección transversal ( $A_b$ ) conforme a las expresiones tradicionales utilizadas para estimar el ancho de grieta (ACI-224, 2001, Meier et. al., 1981) y, adicionalmente se involucró la deformación unitaria en el concreto cuando se presenta el primer agrietamiento y la relación de presforzado parcial (PPR) para considerar la cantidad de acero convencional.

Adicionalmente, se propusieron los factores " $K_w$ " en función de la diferencia entre los anchos de grieta medidos y los determinados mediante esta expresión (ecuación 3.2) y, se elaboraron las gráficas de las figuras 3.44 a 3.51 en donde se hace esta comparación (esta información se complementa con las tablas I.1 a I.12 del apéndice I y, con la tabla L.1 y las figuras L.1 a L.36 del apéndice L).

En estas gráficas (figuras 3.44 a 3.51) se observa que el ancho de grieta determinado analíticamente con esta ecuación estaría del lado conservador al obtenerse valores mayores para un mismo momento actuante. Para los anchos de grieta calculados con esta expresión, en ciertos casos existe una diferencia de hasta un 89 % mayor con respecto al ancho de grieta medido para los centros de los claros exteriores y de hasta de un 94 % mayor para el caso de los apoyos interiores. Los factores " $K_w$ " incluidos en la expresión anterior (ecuación 3.2) pudieran reducirse para que esta diferencia fuera menor, sin embargo, ya no serían valores conservadores en la mayoría de los casos.

Desde otro punto de vista, al alcanzar un ancho de grieta 0.4 mm, que corresponde al valor permisible para exposición interior, al considerar la ecuación 3.2, le correspondería un momento, conforme a las figuras 3.44 a 3.51 y a las figuras L.1 a L.36 del apéndice L, que varía de -9 % hasta un 18 % con respecto al momento actuante obtenido durante los ensayos para las vigas con claros iguales (2.4-2.4-2.4 m). Para el caso de vigas con claros diferentes (2.4-3.6-2.4 m), el momento alcanzado para cuando se presenta un ancho de grieta de 0.4 mm, correspondiente a la ecuación propuesta, varía de -16 % hasta 3% con respecto al momento obtenido durante los ensayos.

En otras investigaciones (Nawy et al., 1977, Gergely et al, 1968) se han propuesto ecuaciones que estiman el ancho de grieta en función de la diferencia de los esfuerzos que se presentan en los cables de presfuerzo para la etapa considerada con respecto al esfuerzo efectivo después de pérdidas

( $\Delta f_{ps}$ ), sin embargo, en la ecuación propuesta anteriormente (ecuación 3.2), la deformación unitaria en la fibra de tensión del concreto ( $\varepsilon_{ct}$ ), está relacionada directamente con esta diferencia de esfuerzos al involucrarse con la compatibilidad de deformaciones unitarias de la sección transversal correspondiente.

En el caso particular de las vigas de sección rectangular, con una relación de presforzado parcial  $PPR = 0.79$ , para los claros exteriores y, sobre los apoyos, se observó un incremento significativo en el ancho de grieta al final de la carga aplicada (figuras 3.32, 3.34, 3.38 y 3.40) debido a que el acero convencional, al ser poca la cantidad de área de refuerzo (2 varillas), presentó una gran deformación después de haber alcanzado su límite elástico.

Adicionalmente se correlacionó la información de la distribución de los agrietamientos (figuras 3.28 a 3.31) con el ancho de grieta tomando en cuenta la separación obtenida de estas grietas, para los centros del claro (ecuación 3.3) y sobre los apoyos (ecuación 3.4).

$$\omega = [(\varepsilon_{ct} - \varepsilon_{cr}) \cdot S_{grieta}] \quad (3.3)$$

$$\omega = 3[(\varepsilon_{ct} - \varepsilon_{cr}) \cdot S_{grieta}] \quad (3.4)$$

Como la ecuación propuesta para determinar el ancho de grieta (ecuación 3.2) se relaciona con las deformaciones unitarias de una sección transversal de un elemento de concreto parcialmente presforzado, las cuales dependen directamente del momento actuante ( $M_a$ ) para una etapa de carga considerada, este mismo momento se puede involucrar en la ecuación 3.1 para determinar el factor de rigidez “ $FR$ ” de la sección transversal, el cual se multiplicaría por la inercia no agrietada y por el módulo de elasticidad del concreto para obtener la rigidez a la flexión ( $FR \cdot E \cdot I$ ) y, posteriormente determinar las deflexiones al centro del claro.

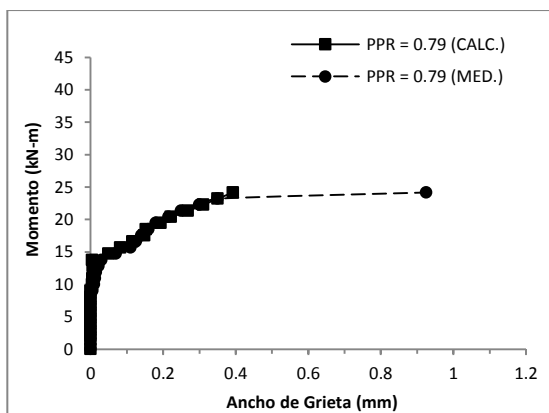


Figura 3.44. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, Sección 300 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-1).

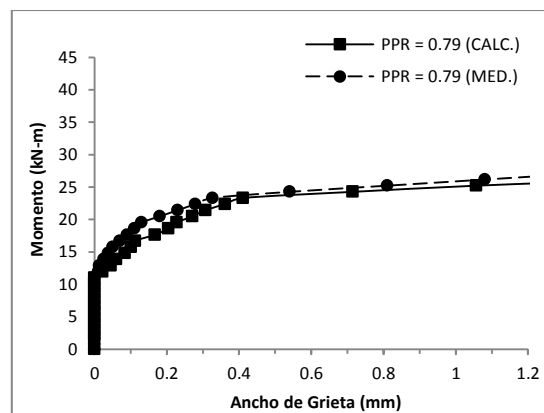


Figura 3.45. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, Sección 500 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-4).

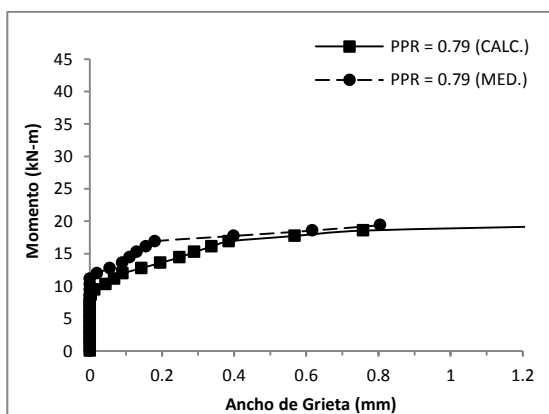


Figura 3.46. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, Sección 300 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-7).

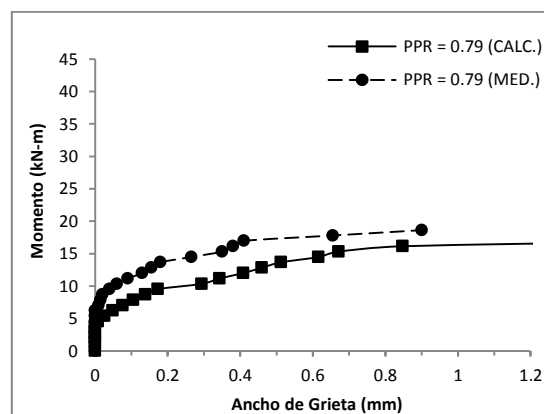


Figura 3.47. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, Sección 500 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-10).

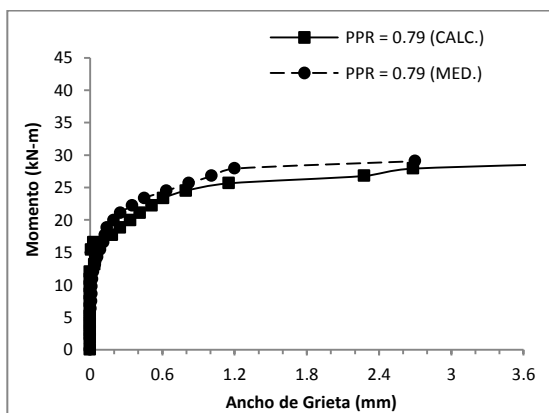


Figura 3.48. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección 300 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-1).

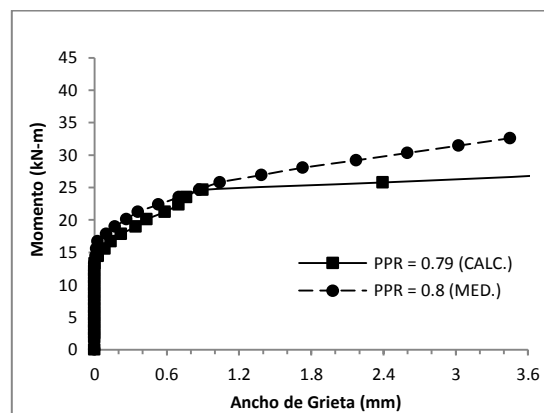


Figura 3.49. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección 500 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-4).

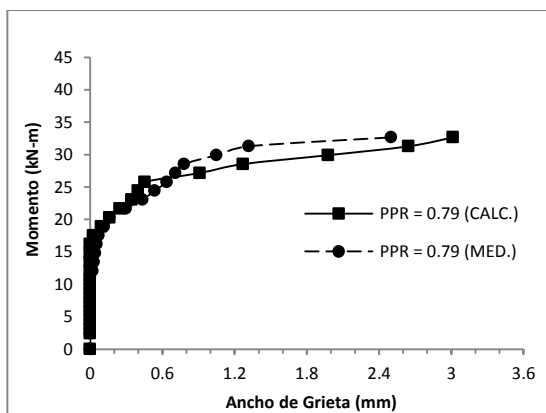


Figura 3.50. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección 300 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-7).

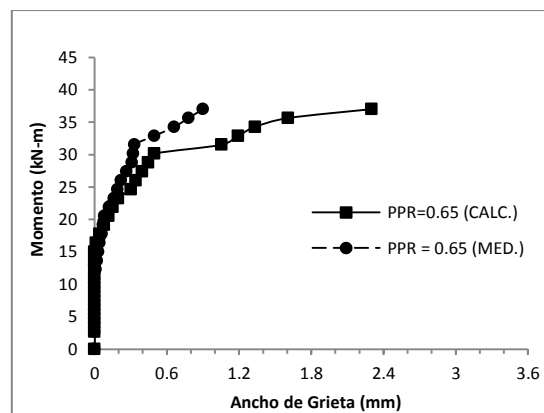


Figura 3.51. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección 500 x 150 mm, PPR = 0.65 (V-10).

### 3.7 Resistencia a la flexión

La falla principal observada en los elementos investigados fue por aplastamiento sobre los apoyos intermedios en las zonas de compresión del concreto en donde se presentaron agrietamientos horizontales cerca de la fibra inferior. Los esfuerzos obtenidos, para los cables de presfuerzo, para el acero convencional y para el concreto se muestran en las tablas 3.11 a 3.22. Estos esfuerzos se obtuvieron mediante la diferencia de las deformaciones unitarias adquiridas entre el valor registrado antes de la aplicación de las cargas y el valor final al terminar cada ensaye de las vigas.

Para el caso de los esfuerzos de los cables de presfuerzo se consideró un módulo de elasticidad de 192.29 GPa y, se tomó como referencia, adicionalmente, el esfuerzo efectivo después de pérdidas determinado previamente para la etapa de tensado (Apéndice B). Para el acero convencional se consideró un módulo de elasticidad de 200 GPa y para el concreto se tomó en cuenta el módulo de elasticidad promedio obtenido de los ensayos de los cilindros de concreto incluidos en la tabla 3.3.

Tabla 3.11. Momentos y esfuerzos para viga V-1 (PPR = 0.79).

CARGA TOTAL (kN)	MOMENTOS (kN-m)					ESFUERZOS (MPa)								
						CABLES DE PRESFUERZO			ACERO CONVENCIONAL			CONCRETO		
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1268.7	1268.7	1268.7	-29.5	-36.9	-29.0	0.2	-1.7	0.3
Mpp =	0.48	0.61	0.16	0.61	0.48									
10.08	1.41	1.72	0.54	1.76	1.44	1273.4	1269.5	1272.6	-17.3	-29.0	-29.0	0.6	-1.0	0.7
20.16	2.34	2.84	0.92	2.91	2.41	1277.6	1275.1	1278.0	8.9	-20.5	-29.0	0.6	0.0	1.4
30.25	3.27	3.95	1.30	4.06	3.37	1282.0	1275.9	1281.0	4.5	-13.5	-29.0	0.6	0.7	1.9
40.33	4.19	5.07	1.67	5.21	4.33	1284.9	1278.0	1283.9	10.7	-6.8	-29.0	0.9	1.3	2.2
50.42	5.12	6.18	2.05	6.36	5.30	1289.9	1279.3	1287.8	14.7	0.3	-29.0	1.3	2.0	2.8
60.50	6.05	7.30	2.43	7.51	6.26	1294.3	1282.2	1290.6	18.5	7.8	-29.0	1.5	2.5	3.0
70.59	6.98	8.41	2.81	8.66	7.23	1297.6	1284.7	1293.6	36.1	17.3	-29.0	2.2	3.4	3.5
80.67	7.91	9.53	3.19	9.82	8.19	1304.5	1286.6	1296.7	39.5	38.1	-29.0	2.6	3.9	4.0
90.75	8.84	10.65	3.57	10.97	9.15	1313.7	1288.2	1300.5	40.3	26.7	-29.0	2.8	4.8	4.7
100.83	9.76	11.76	3.95	12.12	10.12	1317.6	1289.9	1303.3	46.5	37.4	-29.0	3.4	5.3	5.2
110.92	10.69	12.88	4.33	13.27	11.08	1322.0	1288.7	1304.2	47.3	88.1	-29.0	4.0	5.7	5.6
121.00	11.62	13.99	4.71	14.42	12.04	1325.7	1293.4	1307.1	51.7	95.3	-29.0	4.2	6.3	5.8
131.09	12.55	15.11	5.09	15.57	13.01	1326.6	1298.0	1309.5	48.7		-29.0	4.4	6.8	6.2
141.17	13.48	16.22	5.47	16.72	13.97	1331.2	1302.6	1311.4	45.7		-29.0	4.6	7.3	6.7
151.26	14.41	17.34	5.85	17.87	14.93	1328.3	1315.1	1320.5	116.7	226.0	-29.0	5.9	7.7	7.6
161.34	15.34	18.45	6.23	19.02	15.90	1334.3	1343.7	1325.0	167.6	290.7	-29.0	7.8	7.9	8.5
171.42	16.26	19.57	6.61	20.17	16.86	1354.3	1328.5	1336.4	220.8	373.4	-29.0	8.8	8.9	11.7
181.50	17.19	20.68	6.99	21.32	17.82	1367.8	1338.3	1349.5	272.6	402.3	-29.0	10.2	9.6	12.6
191.59	18.12	21.80	7.37	22.47	18.79	1398.0	1353.2	1371.7	277.8	411.9	-29.0	12.1	10.4	15.3
201.67	19.05	22.91	7.75	23.63	19.75	1412.4	1371.4	1389.6	340.4	411.9	-29.0	14.9	11.0	17.5
211.75	19.98	24.03	8.13	24.78	20.72	1425.3	1391.8	1418.2	383.6	411.9	-29.0	17.2	12.4	
221.84	20.91	25.14	8.51	25.93	21.68	1446.8	1424.5	1446.5	411.9	411.9	-29.0	20.5	13.6	24.3
231.93	21.83	26.26	8.89	27.08	22.64	1472.8	1471.7	1452.5	411.9	411.9	-29.0	22.8	13.8	27.9
242.01	22.76	27.37	9.27	28.23	23.61	1490.0	1471.7	1475.3	411.9	411.9	-29.0	26.3	14.9	30.0
252.09	23.69	28.49	9.64	29.38	24.57	1508.4	1490.0	1499.0	411.9	411.9	-29.0	29.2	15.8	34.3

Tabla 3.12. Momentos y esfuerzos para viga V-2 (PPR = 0.65).

CARGA TOTAL (kN)	MOMENTOS (kN-m)					ESFUERZOS (MPa)								
						CABLES DE PRESFUERZO			ACERO CONVENCIONAL			CONCRETO		
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	1 CL1	2 AP2	3 CL3	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1268.7	1268.7	1268.7	-29.7	-37.2	-29.2	0.2	-1.7	0.3
Mpp =	0.48	0.61	0.16	0.61	0.48									
10.08	1.41	1.72	0.54	1.76	1.44	1275.7	1275.0	1274.2	-23.0	-31.6	-29.2	0.0	-1.1	0.9
20.16	2.34	2.84	0.92	2.91	2.41	1279.1	1278.9	1278.5	-18.9	-24.2	-29.2	0.1	-0.5	1.5
30.24	3.27	3.95	1.30	4.06	3.37	1283.4	1285.0	1283.9	-14.0	-18.2	-29.2	0.3	0.2	1.9
40.32	4.19	5.07	1.67	5.21	4.33	1290.1	1292.5	1291.8	-4.9	-7.4	-29.2	0.1	-1.5	2.3
50.41	5.12	6.18	2.05	6.36	5.30	1289.3	1298.7	1294.5	1.5	-0.6	-29.2	0.5	-1.9	3.0
60.49	6.05	7.30	2.43	7.51	6.26	1292.8	1299.3	1299.4	5.9	3.4	-29.2	0.7	-1.6	3.3
70.57	6.98	8.41	2.81	8.66	7.22	1296.8	1306.1	1305.2	14.6	11.2	-29.2	1.0	-2.3	3.8
80.65	7.91	9.53	3.19	9.81	8.19	1298.9	1311.3	1307.6	19.6	17.6	-29.2	1.8	-1.2	4.4
90.73	8.83	10.64	3.57	10.96	9.15	1302.8	1316.5	1313.1	27.7	28.8	-29.2	1.8	-0.1	4.8
100.81	9.76	11.76	3.95	12.11	10.11	1305.8	1321.0	1319.3	32.4	37.8	-29.2	1.9	0.4	5.1
110.89	10.69	12.87	4.33	13.26	11.08	1244.1	1263.0	1329.2	38.1	52.6	-29.2	2.6	0.6	5.6
120.97	11.62	13.99	4.71	14.42	12.04	1245.9	1268.4	1330.8	44.1	60.8	-29.2	3.2	1.2	5.8
131.06	12.55	15.10	5.09	15.57	13.00	1274.9	1286.4	1343.5	58.6		-29.2	6.3	1.0	6.0
141.14	13.48	16.22	5.47	16.72	13.97	1282.4	1292.6	1350.4	65.6		-29.2	6.9	1.6	6.6
151.22	14.40	17.33	5.85	17.87	14.93	1130.9	1301.8	1362.0	76.6	191.8	-29.2	10.7	2.2	7.1
161.30	15.33	18.45	6.23	19.02	15.89	1145.1	1309.2	1375.0	90.7	246.2	-29.2	11.7	3.7	8.8
171.38	16.26	19.56	6.61	20.17	16.86	1207.1		1395.4	102.9	300.7	-29.2	4.1	5.6	10.3
181.46	17.19	20.68	6.99	21.32	17.82	1269.2		1406.4	120.0	324.5	-29.2	5.9	7.7	11.5
191.54	18.12	21.79	7.37	22.47	18.78	1331.2		1419.1	142.4	363.5	-14.6	8.0	6.6	12.4
201.62	19.04	22.91	7.75	23.62	19.75	1393.2		1428.8	171.8	403.5	-29.2	9.3	7.6	13.4
211.71	19.97	24.02	8.12	24.77	20.71	1455.3		1442.9	235.6	411.9	-29.2	24.3	10.7	13.8
221.79	20.90	25.14	8.50	25.92	21.67	1464.7		1453.2	261.1	411.9	-29.2	25.3	10.2	15.1
231.87	21.83	26.25	8.88	27.07	22.64	1469.7		1470.6	250.4	411.9	-29.2	18.2	11.9	16.2
241.95	22.76	27.37	9.26	28.22	23.60	1471.7	1383.7	1470.9	298.1	411.9	-29.2	20.9	13.2	18.1
252.03	23.69	28.48	9.64	29.37	24.56	1471.7	1437.9	1484.8	322.7	411.9	-29.2	21.4	17.0	19.1
262.11	24.61	29.60	10.02	30.52	25.53	1490.0	1444.8	1480.8	357.8	411.9	-29.2	22.6	19.4	20.6
272.19	25.54	30.71	10.40	31.67	26.49	1442.6	1492.3	1535.0	397.1	411.9	-29.2	27.7	23.7	22.9
282.27	26.47	31.83	10.78	32.82	27.45	1465.4	1499.0	1552.6	411.9	411.9	-29.2	29.4	23.9	25.0
292.36	27.40	32.94	11.16	33.98	28.42	1471.7	1525.8	1570.2	411.9	411.9	-29.2	31.2	22.4	26.3
302.44	28.33	34.06	11.54	35.13	29.38	1490.0	1560.9	1587.1	411.9	411.9	-29.2	33.6	22.8	28.2
312.52	29.26	35.17	11.92	36.28	30.34	1578.8	1605.2	1595.4	411.9	411.9	411.9	35.4	23.3	30.9
322.60	30.18	36.29	12.30	37.43	31.31	1595.4	1631.5	1612.1	411.9	411.9	411.9	38.4	24.2	34.8

Tabla 3.13. Momentos y esfuerzos para viga V-3 (PPR = 0.55).

CARGA TOTAL (kN)	MOMENTOS (kN-m)					ESFUERZOS (MPa)								
						CABLES DE PRESFUERZO			ACERO CONVENCIONAL			CONCRETO		
	CL 1	AP2	CL 2	AP3	CL 3	1 CL1	2 CL2	3 CL3	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1268.7	1268.7	1268.7	-30.3	-37.9	-29.8	0.1	-1.5	0.3
Mpp =	0.48	0.61	0.16	0.61	0.48									
10.08	1.41	1.72	0.54	1.76	1.44	1262.8	1264.5	1263.5	-37.2	-36.6	-29.8	0.5	0.2	1.8
20.16	2.34	2.84	0.92	2.91	2.41	1278.8	1282.4	1277.9	-21.6	-20.4	-29.8	-0.2	0.6	2.5
30.24	3.27	3.95	1.30	4.06	3.37	1286.6	1450.1	1283.3	-15.6	-7.5	-29.8	-0.3	1.8	3.6
40.32	4.19	5.07	1.67	5.21	4.33	1300.6	1465.4	1295.2	-1.0	9.9	-29.8	-0.5	2.2	4.0
50.41	5.12	6.18	2.05	6.36	5.30	1297.1	1295.9	1292.1	-3.2	16.8	-29.8	-0.2	3.3	5.1
60.49	6.05	7.30	2.43	7.51	6.26	1302.4	1423.0	1297.0	0.5	27.8	-29.8	-0.1	4.3	5.8
70.57	6.98	8.41	2.81	8.66	7.22	1308.7	1437.8	1301.2	7.8	41.5	-29.8	0.0	4.9	6.7
80.65	7.91	9.53	3.19	9.81	8.19	1314.1	1526.3	1306.3	13.9	55.8	-29.8	0.3	5.7	7.5
90.73	8.83	10.64	3.57	10.96	9.15	1339.6	1526.3	1329.0	36.0	79.4	-29.8	-0.7	5.8	7.7
100.81	9.76	11.76	3.95	12.11	10.11	1337.2		1330.8	39.6	89.9	-29.8	-0.2	6.8	8.7
110.89	10.69	12.87	4.33	13.26	11.08	1349.7	1289.7	1353.9	62.2	120.1	-29.8	-1.4	7.0	8.6
120.97	11.62	13.99	4.71	14.42	12.04	1350.9		1359.7	67.7	144.5	-29.8	-0.9	7.7	9.5
131.06	12.55	15.10	5.09	15.57	13.00	1346.4	1283.4	1362.0	66.8		-29.8	-0.8	9.1	10.9
141.14	13.48	16.22	5.47	16.72	13.97	1356.7	1290.5	1372.2	77.1		-29.8	-0.2	10.2	11.6
151.22	14.40	17.33	5.85	17.87	14.93	1366.4	1310.5	1376.8	84.7	228.6	-29.8	0.4	11.6	12.6
161.30	15.33	18.45	6.23	19.02	15.89	1374.9	1352.4	1395.1	100.2	265.7	-29.8	0.9	12.8	13.3
171.38	16.26	19.56	6.61	20.17	16.86	1394.8	1350.3	1423.9	124.7	313.5	-29.8	0.8	13.6	13.6
181.46	17.19	20.68	6.99	21.32	17.82	1409.7	1358.7	1440.0	145.8	347.0	-29.8	1.3	14.2	14.0
191.54	18.12	21.79	7.37	22.47	18.78	1451.0	1578.8	1440.7	156.1	364.3	-29.8	2.7	15.4	15.2
201.62	19.04	22.91	7.75	23.62	19.75	1460.2	1578.8	1439.3	162.5	373.5	-29.8	4.1	17.2	16.4
211.71	19.97	24.02	8.12	24.77	20.71	1543.8	1561.6	1507.9	204.0	403.1	-29.8	4.0	17.0	16.9
221.79	20.90	25.14	8.50	25.92	21.67	1537.5	1578.8	1520.8	220.2	411.9	-29.8	5.4	17.9	17.4
231.87	21.83	26.25	8.88	27.07	22.64	1542.7	1578.8	1511.7	225.9	411.9	-29.8	7.8	19.7	19.0
241.95	22.76	27.37	9.26	28.22	23.60	1564.4	1737.6	1525.2	264.3	411.9	-29.8	8.4	19.6	19.0
252.03	23.69	28.48	9.64	29.37	24.56	1604.1	1612.1	1533.6	283.3	411.9	-29.8	9.2	20.6	19.9
262.11	24.61	29.60	10.02	30.52	25.53	1612.2	1630.4	1533.6	298.5	411.9	-29.8	10.6	21.4	20.6
272.19	25.54	30.71	10.40	31.67	26.49	1613.2	1630.4	1551.1	327.5	411.9	-29.8	12.1	21.7	21.1
282.27	26.47	31.83	10.78	32.82	27.45	1622.4	1648.8	1560.2	357.5	411.9	-29.8	13.7	22.6	22.1
292.36	27.40	32.94	11.16	33.98	28.42	1634.4	1561.6	1543.6	373.8	411.9	-29.8	16.0	24.0	23.6
302.44	28.33	34.06	11.54	35.13	29.38	1634.4	1561.6	1543.6	387.7	411.9	-29.8	17.7	24.3	26.5
312.52	29.26	35.17	11.92	36.28	30.34	1652.5	1578.8	1569.9	402.7	411.9	-29.8	19.1	24.2	28.4
322.60	30.18	36.29	12.30	37.43	31.31	1655.6	1595.4	1578.5	411.9	411.9	-29.8	21.6	24.6	30.8
332.68	31.11	37.40	12.68	38.58	32.27	1673.7	1595.4	1595.4	411.9	411.9	-29.8	24.3	25.1	33.8
342.76	32.04	38.52	13.06	39.73	33.23	1678.7	1612.1	1603.8	411.9	411.9	-29.8	26.8	25.7	36.3
352.84	32.97	39.63	13.44	40.88	34.20	1690.7	1630.4	1621.3	411.9	411.9	-29.8	29.7	26.0	39.3



Tabla 3.14. Momentos y esfuerzos para viga V-4 (PPR = 0.79).

CARGA TOTAL (kN)	MOMENTOS (kN-m)					ESFUERZOS (MPa)								
						CABLES DE PRESFUERZO			ACERO CONVENCIONAL			CONCRETO		
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1268.7	1268.7	1268.7	-24.5	-30.4	-24.3	0.5	-1.6	0.6
Mpp =	0.59	0.75	0.19	0.75	0.59									
10.08	1.52	1.86	0.57	1.90	1.55	1277.1	1276.2	1275.3	-15.6	-26.8	-20.7	0.2	-1.5	1.3
20.16	2.44	2.98	0.95	3.05	2.52	1278.5	1278.9	1274.9	-11.8	-22.0	-13.5	0.8	0.6	1.9
30.24	3.37	4.09	1.32	4.20	3.48	1284.5	1282.7	1279.0	-6.6	-16.4	-7.7	0.9	1.9	2.4
40.32	4.30	5.21	1.70	5.35	4.44	1285.8	1283.4	1279.5	-4.3	-15.4	-1.9	1.1	3.4	3.0
50.41	5.23	6.32	2.08	6.50	5.41	1286.4	1286.1	1279.2	-1.6	-10.6	4.3	1.8	4.9	3.6
60.49	6.16	7.44	2.46	7.65	6.37	1289.5	1288.1	1282.3	3.2	-5.0	12.1	2.0	6.1	4.1
70.57	7.09	8.55	2.84	8.80	7.33	1293.4	1291.0	1285.2	8.1	-1.5	19.1	2.2	7.0	4.3
80.65	8.01	9.67	3.22	9.95	8.30	1295.8	1291.9	1287.9	15.9	4.1	30.3	2.3	7.7	5.1
90.73	8.94	10.78	3.60	11.10	9.26	1300.7	1296.5	1291.0	19.8	6.3	40.7	2.3	9.1	5.3
100.81	9.87	11.89	3.98	12.25	10.22	1302.9	1300.2	1294.7	23.1	13.3	58.5	2.1	9.9	5.8
110.89	10.80	13.01	4.36	13.40	11.19	1307.4	1305.8	1297.9	30.6	24.9	76.3	2.2	10.8	6.3
120.97	11.73	14.12	4.74	14.55	12.15	1315.0	1311.4	1305.8	65.4	45.5	93.7	2.0	10.3	6.8
131.06	12.66	15.24	5.12	15.70	13.11	1323.3	1320.1	1319.5	97.2		114.9	1.9	10.9	7.6
141.14	13.58	16.35	5.50	16.85	14.08	1328.3	1324.6	1325.8	117.8		135.3	2.1	11.6	8.3
151.22	14.51	17.47	5.88	18.00	15.04	1340.4	1340.2	1339.1	150.5	198.1	163.5	2.2	10.5	8.9
161.30	15.44	18.58	6.26	19.16	16.00	1343.8	1344.2	1344.8	172.3	294.1	187.1	3.2	11.8	10.2
171.38	16.37	19.70	6.64	20.31	16.97	1356.8	1358.2	1355.7	188.6	367.3	193.5	2.7	12.7	10.2
181.46	17.30	20.81	7.02	21.46	17.93	1350.3	1372.8	1368.4	260.7	411.9	259.9	5.5	14.4	11.6
191.54	18.22	21.93	7.40	22.61	18.89	1358.2	1396.8	1383.1	311.3	411.9	298.5	6.3	15.3	12.0
201.62	19.15	23.04	7.77	23.76	19.86	1343.1	1418.3	1405.2	341.9	411.9	327.5	7.3	16.8	12.8
211.71	20.08	24.16	8.15	24.91	20.82	1348.7	1428.3	1431.0	370.8	411.9	398.3	8.3	18.2	12.5
221.79	21.01	25.27	8.53	26.06	21.78	1355.7	1457.2	1447.3	404.0	411.9	411.9	9.7	23.4	13.7
231.87	21.94	26.39	8.91	27.21	22.75	1351.2	1478.3	1452.2	411.9	411.9	411.9	10.3	26.3	15.5
241.95	22.87	27.50	9.29	28.36	23.71	1351.9	1512.2	1475.8	411.9	411.9	411.9	12.4	27.7	17.0
252.03	23.79	28.62	9.67	29.51	24.67	1349.4	1533.6	1500.1	411.9	411.9	411.9	15.7	29.8	17.5
262.11	24.72	29.73	10.05	30.66	25.64	1345.0	1560.2		411.9	411.9	411.9	19.5	31.1	19.5
272.19	25.65	30.85	10.43	31.81	26.60	1348.0	1605.4		411.9	411.9	411.9	23.7	29.7	22.1
282.27	26.58	31.96	10.81	32.96	27.56	1355.1	1652.8		411.9	411.9	411.9	28.9	30.6	26.8

Tabla 3.15. Momentos y esfuerzos para viga V-5 (PPR = 0.65).

CARGA TOTAL (kN)	MOMENTOS (kN-m)					ESFUERZOS (MPa)								
						CABLES DE PRESFUERZO			ACERO CONVENCIONAL			CONCRETO		
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1268.7	1268.7	1268.7	-24.3	-30.3	-24.1	0.5	-1.6	0.6
Mpp =	0.59	0.75	0.19	0.75	0.59									
10.07	1.52	1.86	0.57	1.90	1.55	1269.3	1270.9	1272.0	-13.4	-19.7	-20.1	0.5	-1.4	0.3
20.15	2.44	2.97	0.94	3.04	2.51	1267.2	1273.5	1275.0	-4.8	-14.1	-18.7	0.8	-1.2	0.9
30.22	3.37	4.09	1.32	4.20	3.48	1270.1	1274.9	1277.7	2.0	-10.3	-15.1	0.8	-0.8	1.1
40.31	4.30	5.20	1.70	5.35	4.44	1267.2	1275.3	1278.2	5.7	-6.3	-12.5	1.1	-0.3	1.2
50.38	5.23	6.32	2.08	6.49	5.40	1270.7	1276.6	1280.9	12.8	-1.3	-9.1	1.3	0.2	1.4
60.46	6.15	7.43	2.46	7.65	6.37	1271.4	1277.0	1280.7	17.1	2.7	-6.7	1.5	0.8	1.9
70.53	7.08	8.55	2.84	8.80	7.33	1273.2	1279.1	1281.9	25.2	7.7	-1.9	1.6	1.3	2.0
80.61	8.01	9.66	3.22	9.94	8.29	1272.8	1280.1	1284.4	32.4	13.7	-1.5	1.7	1.8	2.1
90.68	8.94	10.77	3.60	11.10	9.25	1252.4	1289.5	1291.6	48.9	45.1	2.9	0.8	2.4	1.9
100.75	9.87	11.89	3.98	12.25	10.22	1251.6	1289.5	1294.0	53.8	47.1	6.1	1.0	3.1	2.2
110.83	10.79	13.00	4.36	13.39	11.18	1268.4	1295.7	1303.8	72.2	64.3	9.1	0.1	3.6	2.7
120.91	11.72	14.12	4.74	14.55	12.14	1258.4	1297.8	1304.1	78.4	68.1	12.3	0.5	4.2	2.9
130.99	12.65	15.23	5.12	15.70	13.11	1261.0	1298.5	1305.3	89.8		14.9	1.1	5.1	3.4
141.06	13.58	16.35	5.50	16.84	14.07	1262.8	1299.9	1307.7	123.2		18.5	1.9	5.7	4.1
151.14	14.50	17.46	5.88	18.00	15.03	1325.1	1308.5	1308.8	179.3	111.7	21.5	1.9	6.6	4.7
161.21	15.43	18.57	6.25	19.15	15.99	1328.0	1308.0	1308.1	202.2	181.5	27.5	2.8	7.4	5.4
171.29	16.36	19.69	6.63	20.29	16.96	1340.7	1307.2	1310.8	231.8	278.9	30.5	3.8	8.9	6.1
181.36	17.29	20.80	7.01	21.45	17.92	1350.1	1309.7	1311.4	263.2	314.7	37.5	4.7	10.4	7.1
191.45	18.21	21.92	7.39	22.60	18.88	692.5	1322.4	1317.1	303.9	409.4	41.5	5.5		7.9
201.52	19.14	23.03	7.77	23.74	19.84	709.9	1323.2	1318.4	336.8	411.9	61.5	7.0	13.3	9.5
211.59	20.07	24.15	8.15	24.90	20.81	725.1	1323.7	1319.5	370.1	411.9	78.5	8.2	14.7	10.4
221.67	21.00	25.26	8.53	26.05	21.77	705.5	1323.2	1319.7	402.5	411.9	93.1	9.5	16.8	11.1
231.74	21.93	26.38	8.91	27.19	22.73	1224.7	1331.0	1321.7	411.9	411.9	137.7	10.4	18.6	12.8
241.82	22.85	27.49	9.29	28.35	23.70	1224.3	1330.8	1321.2	411.9	411.9	157.7	11.7	20.1	13.6
251.89	23.78	28.60	9.67	29.50	24.66	1229.1	1332.2	1325.3	411.9	411.9	198.0	13.0	21.8	15.6
261.97	24.71	29.72	10.05	30.64	25.62	1229.5	1332.2	1325.6	411.9	411.9	241.8	14.4	24.5	16.5
272.05	25.64	30.83	10.43	31.80	26.58	1373.5	1334.9	1329.7	411.9	411.9	293.4	14.9	26.1	17.5
282.13	26.56	31.95	10.80	32.95	27.55	1372.6	1334.9	1330.4	411.9	411.9	353.6	17.1	28.6	19.3
292.20	27.49	33.06	11.18	34.09	28.51	1368.2	1334.5	1333.9	411.9	411.9	407.4	18.2	29.9	20.7
302.27	28.42	34.18	11.56	35.25	29.47	1368.2	1334.3	1337.3	411.9	411.9	411.9	20.0	31.7	22.0
312.35	29.35	35.29	11.94	36.40	30.44	1309.9	1334.3	1345.1	411.9	411.9	411.9	23.5	30.6	22.7

Tabla 3.16. Momentos y esfuerzos para viga V-6 (PPR = 0.55).

CARGA TOTAL (kN)	MOMENTOS (kN-m)					ESFUERZOS (MPa)								
						CABLES DE PRESFUERZO			ACERO CONVENCIONAL			CONCRETO		
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	CL 1	AP. 2	CL 2	CL 1	AP. 2	CL 2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1268.7	1268.7	1268.7	-24.4	-30.4	-24.2	0.5	-1.6	0.6
Mpp =	0.59	0.75	0.19	0.75	0.59									
10.08	1.52	1.86	0.57	1.90	1.55	1269.7	1281.2	1272.5	-14.2	-18.7	-13.1	0.4	0.4	0.6
20.16	2.44	2.98	0.95	3.05	2.52	1274.9	1285.8	1274.4	-7.8	-14.3	-8.2	0.4	3.2	0.6
30.24	3.37	4.09	1.32	4.20	3.48	1279.1	1289.7	1276.8	-3.8	-9.9	-3.7	0.4	5.9	0.6
40.32	4.30	5.21	1.70	5.35	4.44	1280.3	1290.5	1275.9	-2.8	-9.1	0.4	1.1	8.5	0.6
50.41	5.23	6.32	2.08	6.50	5.41	1283.2	1291.7	1280.1	5.4	-6.1	5.9	1.2	9.8	0.6
60.49	6.16	7.44	2.46	7.65	6.37	1284.5	1293.9	1284.5	8.4	-3.3	10.2	1.5	11.2	0.6
70.57	7.09	8.55	2.84	8.80	7.33	1287.6	1296.8	1286.2	6.8	-0.1	16.9	1.6	12.3	0.6
80.65	8.01	9.67	3.22	9.95	8.30	1290.1	1297.9	1285.5	10.2	2.8	22.9	2.1	13.3	0.6
90.73	8.94	10.78	3.60	11.10	9.26	1292.2	1306.5	1292.9	15.0	13.8	35.7	2.1	13.9	0.6
100.81	9.87	11.89	3.98	12.25	10.22	1294.7	1309.5	1294.4	20.4	18.7	43.9	2.4	15.0	0.6
110.89	10.80	13.01	4.36	13.40	11.19	1328.7	1311.7	1299.9	29.0	23.6	48.6	1.2	15.8	0.6
120.97	11.73	14.12	4.74	14.55	12.15	1364.7	1315.8	1302.6	36.4	31.8	58.5	2.4	17.6	0.6
131.06	12.66	15.24	5.12	15.70	13.11	1358.7	1325.2	1332.7	39.0		47.8	2.1	18.4	0.6
141.14	13.58	16.35	5.50	16.85	14.08	1367.2	1329.4	1335.3	50.0		58.7	2.1	19.2	0.6
151.22	14.51	17.47	5.88	18.00	15.04	1372.2	1339.0	1344.9	59.2	93.6	65.9	1.8	20.3	0.6
161.30	15.44	18.58	6.26	19.16	16.00	1374.3	1344.9	1348.2	62.8	121.6	86.7	2.2	21.7	0.6
171.38	16.37	19.70	6.64	20.31	16.97	1330.3	1358.5	1353.8	71.8	158.3	119.4	2.2	22.8	0.6
181.46	17.30	20.81	7.02	21.46	17.93	1334.5	1365.1	1353.0	76.2	189.6	146.7	3.1	23.6	0.6
191.54	18.22	21.93	7.40	22.61	18.89	1329.5	1365.7	1360.2	95.5	218.9	180.0	3.5	24.2	0.6
201.62	19.15	23.04	7.77	23.76	19.86	1340.8	1377.0	1360.2	115.5	256.4	214.7	4.5	26.5	0.6
211.71	20.08	24.16	8.15	24.91	20.82	1399.3	1391.5	1354.0	169.7	307.6	229.0	5.9	28.8	0.6
221.79	21.01	25.27	8.53	26.06	21.78	1404.1	1400.9	1353.7	209.1	341.5	258.3	6.5	30.4	0.6
231.87	21.94	26.39	8.91	27.21	22.75	1420.5	1418.6	1359.4	241.7	363.8	294.6	6.9	31.5	0.6
241.95	22.87	27.50	9.29	28.36	23.71	1426.8	1429.2	1360.3	248.7	384.9	317.6	7.9	33.1	0.6
252.03	23.79	28.62	9.67	29.51	24.67	1434.9	1444.0	1369.6	280.5	400.4	353.7	8.8	34.7	0.6
262.11	24.72	29.73	10.05	30.66	25.64	1443.0	1453.9	1370.2	312.3	411.9	373.8	9.6	35.9	0.6
272.19	25.65	30.85	10.43	31.81	26.60	1445.1	1458.8	1380.7	325.5	411.9	397.5	10.5	37.9	0.6
282.27	26.58	31.96	10.81	32.96	27.56	1447.2	1477.0	1391.3	338.9	411.9	411.9	11.3	40.1	0.6
292.36	27.51	33.08	11.19	34.11	28.53	1458.3	1483.1	1394.5	354.1	411.9	411.9	12.3	41.9	0.6
302.44	28.43	34.19	11.57	35.26	29.49	1462.0	1490.0		377.3	411.9	411.9	13.4	43.3	0.6
312.52	29.36	35.31	11.95	36.41	30.45	1462.4	1499.0		402.9	411.9	411.9	14.1	44.5	0.6
322.60	30.29	36.42	12.33	37.57	31.42	1471.7	1517.2		411.9	411.9	411.9	15.5	46.9	0.6
332.68	31.22	37.54	12.71	38.72	32.38	1490.0	1544.0		411.9	411.9	411.9	16.0	48.6	0.6
342.76	32.15	38.65	13.09	39.87	33.34	1526.3	1570.2	1421.6	411.9	411.9	411.9	17.4	50.5	0.6
352.84	33.08	39.77	13.47	41.02	34.31	1544.3	1595.4	1433.9	411.9	411.9	411.9	18.4	53.2	0.6

Tabla 3.17. Momentos y esfuerzos para viga V-7 (PPR = 0.79).

CARGA TOTAL (kN)	MOMENTOS (kN-m)					ESFUERZOS (MPa)								
						CABLES DE PRESFUERZO			ACERO CONVENCIONAL			CONCRETO		
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1258.3	1258.3	1258.3	-29.7	-37.6	-25.1	0.2	-1.8	1.1
Mpp =	0.33	1.03	0.70	1.03	0.33									
10.08	1.15	2.38	1.35	2.41	1.18	1262.2	1263.7	1260.1	-22.7	-32.6	-25.1	1.1	-1.8	1.4
20.16	1.96	3.72	2.00	3.80	2.03	1264.3	1262.7	1262.0	-15.7	-29.8	-25.1	1.7	-1.8	1.7
30.24	2.77	5.07	2.65	5.18	2.88	1264.9	1262.5	1262.7	-9.4	-25.7	-25.1	2.5	-1.8	2.1
40.32	3.58	6.42	3.30	6.56	3.72	1268.3	1265.1	1263.7	-2.6	-21.8	-25.1	3.0	-1.8	2.4
50.41	4.39	7.77	3.95	7.94	4.57	1270.8	1276.4	1266.0	3.6	-15.9	-25.1	3.2	-1.8	2.8
60.49	5.20	9.12	4.61	9.33	5.42	1272.6	1280.6	1268.5	9.6	-11.1	-25.1	3.8	-1.8	3.1
70.57	6.02	10.46	5.26	10.71	6.26	1280.4	1282.7	1269.3	18.7	-1.0	-25.1	3.5	-1.8	3.2
80.65	6.83	11.81	5.91	12.09	7.11	1282.4	1285.2	1270.1	24.4	6.7	-25.1	3.6	-1.8	3.8
90.73	7.64	13.16	6.56	13.47	7.96	1282.6	1287.5	1272.2	30.8	16.3	-25.1	4.6	-1.8	4.1
100.81	8.45	14.51	7.21	14.86	8.81	1285.1	1295.4	1274.1	37.9	30.3	-25.1	4.9	-1.8	4.9
110.89	9.26	15.85	7.86	16.24	9.65	1290.6	1317.2	1277.6	52.8	45.6	-25.1	5.1	-1.8	5.3
120.97	10.07	17.20	8.51	17.62	10.50	1293.7	1328.5	1280.8	99.3	88.3	-25.1	10.1	-1.8	5.8
131.06	10.89	18.55	9.17	19.00	11.35	1299.3	1329.3	1282.6	135.9		-25.1	13.0	-1.8	6.3
141.14	11.70	19.90	9.82	20.39	12.19	1303.5	1339.4	1284.3	171.2		-25.1	14.0	-1.8	6.7
151.22	12.51	21.25	10.47	21.77	13.04	1305.8	1350.4	1292.9	253.5	284.0	-25.1	15.7	-1.8	8.1
161.30	13.32	22.59	11.12	23.15	13.89	1307.9	1366.1	1301.4	335.1	327.8	-25.1	17.1	-1.8	8.7
171.38	14.13	23.94	11.77	24.54	14.74	1325.6	1371.0	1317.0	405.6	353.3	-25.1	20.2	-1.8	9.4
181.46	14.94	25.29	12.42	25.92	15.58	1329.1	1392.3	1332.4	411.9	378.8	-25.1	22.3	-1.8	10.2
191.54	15.76	26.64	13.07	27.30	16.43	1360.4	1430.5	1361.6	411.9	411.9	-12.5	22.3	-1.8	11.3
201.62	16.57	27.98	13.73	28.68	17.28	1362.9	1461.5	1390.8	411.9	411.9	-25.1	24.6	-1.8	13.1
211.71	17.38	29.33	14.38	30.07	18.12	1335.4	1471.7	1412.9	411.9	411.9	-25.1		-1.8	16.3
221.79	18.19	30.68	15.03	31.45	18.97	1338.5	1490.0	1435.0	411.9	411.9	-25.1		-1.8	19.4
231.87	19.00	32.03	15.68	32.83	19.82	1359.1	1526.3	1441.6	411.9	411.9	-25.1		-1.8	22.1

Tabla 3.18. Momentos y esfuerzos para viga V-8 (PPR = 0.65).

CARGA TOTAL (kN)	MOMENTOS (kN-m)					ESFUERZOS (MPa)								
						CABLES DE PRESFUERZO			ACERO CONVENCIONAL			CONCRETO		
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1258.3	1258.3	1258.3	-31.4	-39.6	-26.5	0.2	-1.8	1.1
Mpp =	0.33	1.03	0.70	1.03	0.33									
10.08	1.15	2.38	1.35	2.41	1.18	1266.8	1258.3	1264.5	-31.4	-33.2	-26.5	0.6	-1.8	1.9
20.16	1.96	3.72	2.00	3.80	2.03	1268.7	1258.3	1281.8	-31.4	-31.8	-26.5	1.4	-1.8	2.3
30.24	2.77	5.07	2.65	5.18	2.88	1274.7	1258.3	1278.5	-31.4	-26.2	-26.5	1.7	-1.8	3.0
40.32	3.58	6.42	3.30	6.56	3.72	1278.1	1258.3	1285.1	-31.4	-24.0	-26.5	2.4	-1.8	3.7
50.41	4.39	7.77	3.95	7.94	4.57	1280.2	1258.3	1289.3	-31.4	-19.0	-26.5	2.8	-1.8	-2.9
60.49	5.20	9.12	4.61	9.33	5.42	1288.3	1258.3	1298.7	-31.4	-10.2	-26.5	2.4	-1.8	-9.2
70.57	6.02	10.46	5.26	10.71	6.26	1291.6	1258.3	1313.1	-31.4	-5.0	-26.5	2.9	-1.8	-2.7
80.65	6.83	11.81	5.91	12.09	7.11	1294.7	1258.3	1325.6	-31.4	-3.0	-26.5	3.5	-1.8	0.2
90.73	7.64	13.16	6.56	13.47	7.96	1396.6	1258.3	1332.7	-31.4	4.4	-26.5	3.8	-1.8	-4.6
100.81	8.45	14.51	7.21	14.86	8.81	1400.8	1258.3	1332.7	-31.4	9.6	-26.5	4.4	-1.8	-3.0
110.89	9.26	15.85	7.86	16.24	9.65	1406.2	1258.3	1336.4	-31.4	18.2	-26.5	4.7	-1.8	3.6
120.97	10.07	17.20	8.51	17.62	10.50	1410.0	1258.3	1341.2	-31.4	28.6	-26.5	5.5	-1.8	4.9
131.06	10.89	18.55	9.17	19.00	11.35	1406.2	1258.3	1370.8	-31.4		-26.5	6.0	-1.8	5.3
141.14	11.70	19.90	9.82	20.39	12.19	1415.8	1258.3	1376.6	-31.4		-26.5	9.2	-1.8	7.5
151.22	12.51	21.25	10.47	21.77	13.04	1396.4	1258.3	1393.7	-31.4	128.5	-26.5	10.3	-1.8	-80.6
161.30	13.32	22.59	11.12	23.15	13.89	1404.5	1258.3	1409.3	-31.4	169.9	-26.5	11.7	-1.8	-78.4
171.38	14.13	23.94	11.77	24.54	14.74	1424.3	1258.3	1413.3	-31.4	203.9	-26.5	12.9	-1.8	-26.4
181.46	14.94	25.29	12.42	25.92	15.58	1436.6	1258.3	1428.7	-31.4	251.3	-26.5	14.1	-1.8	-25.2
191.54	15.76	26.64	13.07	27.30	16.43	1471.7	1258.3	1467.0	-31.4	296.1	-26.5	15.5	-1.8	-2.4
201.62	16.57	27.98	13.73	28.68	17.28	1471.7	1258.3	1469.3	-31.4	338.1	-26.5	17.0	-1.8	-1.2
211.71	17.38	29.33	14.38	30.07	18.12	1508.4	1258.3	1471.7	-31.4	379.9	-26.5	18.5	-1.8	-10.1
221.79	18.19	30.68	15.03	31.45	18.97	1508.4	1258.3	1490.0	-31.4	411.9	-26.5	20.0	-1.8	-9.7

Tabla 3.19. Momentos y esfuerzos para viga V-9 (PPR = 0.55).

CARGA TOTAL (kN)	MOMENTOS (kN-m)					ESFUERZOS (MPa)								
						CABLES DE PRESFUERZO			ACERO CONVENCIONAL			CONCRETO		
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1258.3	1258.3	1258.3	-30.4	-38.4	-25.6	0.2	-1.8	1.1
Mpp =	0.33	1.03	0.70	1.03	0.33									
10.08	1.15	2.38	1.35	2.41	1.18	1265.5	1269.5	1268.7	-22.5	-31.4	-25.6	0.2	-1.8	1.9
20.16	1.96	3.72	2.00	3.80	2.03	1274.0	1277.4	1270.1	-16.4	-29.4	-25.6	0.6	-1.8	2.5
30.24	2.77	5.07	2.65	5.18	2.88	1310.5	1289.1	1274.1	-10.1	-27.8	-25.6	0.6	-1.8	3.1
40.32	3.58	6.42	3.30	6.56	3.72	1329.4	1311.6	1280.2	-2.5	-26.2	-25.6	0.5	-1.8	3.6
50.41	4.39	7.77	3.95	7.94	4.57	1320.3	1311.6	1289.9	7.0	-14.6	-25.6	0.2	-1.8	4.3
60.49	5.20	9.12	4.61	9.33	5.42	1341.8	1323.3	1290.6	16.6	-7.4	-25.6	-0.6	-1.8	4.9
70.57	6.02	10.46	5.26	10.71	6.26	1343.7	1334.7	1295.6	21.6	-2.0	-25.6	-0.3	-1.8	4.9
80.65	6.83	11.81	5.91	12.09	7.11	1344.2	1344.7	1297.0	27.5	5.0	-25.6	0.1	-1.8	5.5
90.73	7.64	13.16	6.56	13.47	7.96	1349.7	1361.8	1303.9	37.6	19.6	-25.6	-0.1	-1.8	6.0
100.81	8.45	14.51	7.21	14.86	8.81	1351.4	1372.7	1308.1	42.6	27.0	-25.6	0.0	-1.8	6.7
110.89	9.26	15.85	7.86	16.24	9.65	1362.6	1407.7	1310.0	55.2	44.2	-25.6	0.0	-1.8	7.8
120.97	10.07	17.20	8.51	17.62	10.50	1365.9	1425.0	1318.6	62.2	61.4	-25.6	0.5	-1.8	8.8
131.06	10.89	18.55	9.17	19.00	11.35	1363.1	1453.3	1322.2	73.9		-25.6	0.8	-1.8	9.5
141.14	11.70	19.90	9.82	20.39	12.19	1367.1	1470.0	1330.0	83.4		-25.6	1.6	-1.8	10.5
151.22	12.51	21.25	10.47	21.77	13.04	1377.3	1490.0	1346.7	100.2	150.6	-25.6	2.0	-1.8	11.4
161.30	13.32	22.59	11.12	23.15	13.89	1382.4	1490.0	1351.8	116.1	177.0	-25.6	3.2	-1.8	12.6
171.38	14.13	23.94	11.77	24.54	14.74	1385.9	1508.4	1356.2	134.6	206.4	-25.6	3.8	-1.8	13.3
181.46	14.94	25.29	12.42	25.92	15.58	1397.2	1526.3	1364.0	160.6	248.8	-25.6	5.5	-1.8	14.2
191.54	15.76	26.64	13.07	27.30	16.43	1406.9	1526.3	1379.9	188.3	302.7	-25.6	6.4	-1.8	15.6
201.62	16.57	27.98	13.73	28.68	17.28	1421.3	1544.3	1387.3	212.7	342.7	-25.6	7.7	-1.8	16.2
211.71	17.38	29.33	14.38	30.07	18.12	1425.5	1561.6	1388.7	237.1	381.7	-25.6	8.7	-1.8	16.9
221.79	18.19	30.68	15.03	31.45	18.97	1430.2	1561.6	1395.7	259.7	411.5	-25.6	10.5	-1.8	17.8
231.87	19.00	32.03	15.68	32.83	19.82	1425.8	1578.8	1409.0	287.6	411.9	-25.6	11.4	-1.8	18.0
241.95	19.81	33.37	16.33	34.21	20.67	1432.9	1578.8	1420.5	310.9	411.9	-25.6	13.0	-1.8	19.0
252.03	20.63	34.72	16.98	35.60	21.51	1438.2	1612.1	1421.0	335.5	411.9	-25.6	14.5	-1.8	20.6
262.11	21.44	36.07	17.63	36.98	22.36	1464.7	1630.4	1427.4	365.8	411.9	-25.6	16.7	-1.8	21.5
272.19	22.25	37.42	18.29	38.36	23.21	1482.1	1648.8	1428.6	389.9	411.9	-25.6	18.3	-1.8	22.9
282.27	23.06	38.76	18.94	39.74	24.05	1480.8	1648.8	1442.8	411.9	411.9	-25.6	20.0	-1.8	24.4
292.36	23.87	40.11	19.59	41.13	24.90	1499.2	1666.5	1447.7	411.9	411.9	-25.6	21.8	-1.8	26.4
302.44	24.69	41.46	20.24	42.51	25.75	1508.4	1684.3	1457.0	411.9	411.9	-25.6	23.6	-1.8	28.6
312.52	25.50	42.81	20.89	43.89	26.60	1526.3	1700.2	1469.3	411.9	411.9	-25.6	26.4	-1.8	30.8

Tabla 3.20. Momentos y esfuerzos para viga V-10 (PPR = 0.79).

CARGA TOTAL (kN)	MOMENTOS (kN-m)					ESFUERZOS (MPa)								
						CABLES DE PRESFUERZO			ACERO CONVENCIONAL			CONCRETO		
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1258.3	1258.3	1258.3	-25.4	-31.5	-21.2	0.5	-1.6	1.2
Mpp =	0.40	1.26	0.84	1.26	0.40									
10.08	1.21	2.60	1.49	2.64	1.25	1258.3	1258.3	1261.4	-9.6	-31.5	-21.2	0.5	-1.0	1.8
20.16	2.03	3.95	2.15	4.02	2.10	1258.3	1258.3	1263.7	5.4	-31.5	-21.2	0.3	-0.5	2.3
30.24	2.84	5.30	2.80	5.40	2.94	1258.3	1258.3	1270.4	25.6	-31.5	-21.2	0.3	0.3	2.9
40.32	3.65	6.65	3.45	6.79	3.79	1258.3	1258.3	1274.3	40.0	-31.5	-21.2	0.4	1.1	3.6
50.41	4.46	7.99	4.10	8.17	4.64	1258.3	1258.3	1277.6	61.6	-31.5	-21.2	-1.1	1.7	4.0
60.49	5.27	9.34	4.75	9.55	5.48	1258.3	1258.3	1281.4	86.8	-31.5	-21.2	-1.5	2.6	4.4
70.57	6.08	10.69	5.40	10.93	6.33	1258.3	1258.3	1285.8	117.0	-31.5	-21.2	-1.1	3.5	5.1
80.65	6.90	12.04	6.06	12.32	7.18	1258.3	1258.3	1288.1	155.4	-31.5	-21.2	-1.1	4.1	5.5
90.73	7.71	13.38	6.71	13.70	8.03	1258.3	1258.3	1290.2	197.9	-31.5	-21.2	-3.3	4.9	6.4
100.81	8.52	14.73	7.36	15.08	8.87	1258.3	1258.3	1291.2	244.9	-31.5	-21.2	-3.2	5.9	6.9
110.89	9.33	16.08	8.01	16.46	9.72	1258.3	1258.3	1292.9	292.7	-31.5	-21.2	-3.9	7.4	7.1
120.97	10.14	17.43	8.66	17.85	10.57	1258.3	1258.3	1294.3	411.9	-31.5	-21.2	-3.4	10.8	7.5
131.06	10.95	18.77	9.31	19.23	11.41	1258.3	1258.3	1287.7	411.9		-21.2	-4.3	12.9	8.6
141.14	11.77	20.12	9.96	20.61	12.26	1258.3	1258.3	1286.8	411.9		-21.2	-3.4	15.4	9.4
151.22	12.58	21.47	10.62	22.00	13.11	1258.3	1258.3	1283.4	411.9	-31.5	-21.2	-2.9	18.0	11.3
161.30	13.39	22.82	11.27	23.38	13.96	1258.3	1258.3	1280.1	411.9	-31.5	-21.2	-0.9	19.9	12.3
171.38	14.20	24.17	11.92	24.76	14.80	1258.3	1258.3	1284.7	411.9	-31.5	-21.2	3.7	23.8	14.2
181.46	15.01	25.51	12.57	26.14	15.65	1258.3	1258.3	1293.9	411.9	-31.5	-21.2	6.9	27.3	15.0
191.54	15.82	26.86	13.22	27.53	16.50	1258.3	1258.3	1311.8	411.9	-31.5	-21.2	11.0	30.2	16.5
201.62	16.64	28.21	13.87	28.91	17.35	1258.3	1258.3	1311.6	411.9	-31.5	-21.2	13.8	33.7	18.4
211.71	17.45	29.56	14.52	30.29	18.19	1258.3	1258.3	1306.4	411.9	-31.5	-21.2	17.5	37.2	19.7
221.79	18.26	30.90	15.18	31.67	19.04	1258.3	1258.3	1293.1	411.9	-31.5	-21.2	23.3	40.2	21.4

Tabla 3.21. Momentos y esfuerzos para viga V-11 (PPR = 0.65).

CARGA TOTAL (kN)	MOMENTOS (kN-m)					ESFUERZOS (MPa)								
						CABLES DE PRESFUERZO			ACERO CONVENCIONAL			CONCRETO		
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1258.3	1258.3	1258.3	-25.0	-30.9	-20.8	0.5	-1.6	1.2
Mpp =	0.40	1.26	0.84	1.26	0.40									
10.08	1.21	2.60	1.49	2.64	1.25	1270.2	1372.5	1266.6	-13.4	-18.6	-20.8	0.7	-1.6	1.9
20.16	2.03	3.95	2.15	4.02	2.10	1273.1	1376.0	1269.5	-10.4	-15.0	-20.8	1.1	-1.6	2.2
30.24	2.84	5.30	2.80	5.40	2.94	1277.2	1378.0	1271.2	-4.6	-11.4	-20.8	1.5	-1.6	2.6
40.32	3.65	6.65	3.45	6.79	3.79	1281.6	1380.0	1274.1	0.0	-6.0	-20.8	2.1	-1.6	2.9
50.41	4.46	7.99	4.10	8.17	4.64	1285.3	1382.3	1277.6	4.0	0.0	-20.8	2.4	-1.6	3.4
60.49	5.27	9.34	4.75	9.55	5.48	1288.9	1384.4	1280.4	11.4	6.4	-20.8	2.7	-1.6	3.8
70.57	6.08	10.69	5.40	10.93	6.33	1295.5	1392.4	1285.6	20.6	15.9	-20.8	3.0	-1.6	4.3
80.65	6.90	12.04	6.06	12.32	7.18	1298.8	1397.0	1290.4	26.6	25.5	-20.8	3.3	-1.6	4.9
90.73	7.71	13.38	6.71	13.70	8.03	1303.5	1399.8	1295.8	35.0	38.9	-20.8	3.5	-1.6	4.9
100.81	8.52	14.73	7.36	15.08	8.87	1311.6	1404.3	1302.2	57.0	60.6	-20.8	4.3	-1.6	5.0
110.89	9.33	16.08	8.01	16.46	9.72	1316.2	1418.4	1308.5	69.2	79.6	-20.8	4.5	-1.6	5.8
120.97	10.14	17.43	8.66	17.85	10.57	1319.9	1422.9	1316.8	85.2	103.2	-20.8	5.1	-1.6	6.5
131.06	10.95	18.77	9.31	19.23	11.41	1329.1	1430.6	1327.0	104.0		-20.8	5.9	-1.6	7.3
141.14	11.77	20.12	9.96	20.61	12.26	1333.5	1444.7	1334.7	127.0		-20.8	6.6	-1.6	8.2
151.22	12.58	21.47	10.62	22.00	13.11	1338.0	1451.0	1343.5	141.8	199.9	-20.8	7.3	-1.6	8.8
161.30	13.39	22.82	11.27	23.38	13.96	1344.3	1468.6	1350.6	163.8	238.9	-20.8	7.7	-1.6	9.3
171.38	14.20	24.17	11.92	24.76	14.80	1359.9	1483.1	1369.1	193.8	329.6	-20.8	17.6	-1.6	10.5
181.46	15.01	25.51	12.57	26.14	15.65	1364.3	1488.0	1378.3	213.8	366.2	-20.8	18.6	-1.6	11.1
191.54	15.82	26.86	13.22	27.53	16.50	1374.5	1494.4	1398.7	256.2	392.3	-20.8	7.4	-1.6	
201.62	16.64	28.21	13.87	28.91	17.35	1381.0	1508.1	1410.6	277.2	411.9	-20.8	8.4	-1.6	
211.71	17.45	29.56	14.52	30.29	18.19	1382.7	1525.3	1436.2	348.6	411.9	-20.8	19.5	-1.6	13.7
221.79	18.26	30.90	15.18	31.67	19.04	1389.5	1525.2	1454.8	375.0	411.9	-20.8	20.6	-1.6	14.8
231.87	19.07	32.25	15.83	33.06	19.89	1397.8	1603.0	1472.7	411.9	411.9	-20.8		-1.6	15.4
241.95	19.88	33.60	16.48	34.44	20.73	1408.2	1612.2	1471.7	411.9	411.9	-20.8		-1.6	17.0
252.03	20.69	34.95	17.13	35.82	21.58	1416.8		1490.0	411.9	411.9	-20.8		-1.6	18.2
262.11	21.51	36.29	17.78	37.20	22.43	1420.4		1508.4	411.9	411.9	-20.8		-1.6	19.8



Tabla 3.22. Momentos y esfuerzos para viga V-12 (PPR = 0.55).

CARGA TOTAL (kN)	MOMENTOS (kN-m)					ESFUERZOS (MPa)								
						CABLES DE PRESFUERZO			ACERO CONVENCIONAL			CONCRETO		
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1258.3	1258.3	1258.3	-25.8	-31.9	-21.5	0.5	-1.6	1.2
Mpp =	0.40	1.26	0.84	1.26	0.40									
10.08	1.21	2.60	1.49	2.64	1.25	1262.9	1263.9	1267.0	-18.2	-33.5	-21.5	1.1	-1.3	1.9
20.16	2.03	3.95	2.15	4.02	2.10	1267.0	1267.8	1275.6	-13.0	-34.9	-21.5	1.5	-0.6	2.5
30.24	2.84	5.30	2.80	5.40	2.94	1272.6	1270.6	1284.3	-5.0	-33.9	-21.5	1.6	-0.2	2.9
40.32	3.65	6.65	3.45	6.79	3.79	1277.6	1273.1	1292.9	2.8	-33.9	-21.5	2.0	0.4	3.6
50.41	4.46	7.99	4.10	8.17	4.64	1280.1	1276.8	1301.6	11.6	-31.7	-21.5	2.3	0.6	4.1
60.49	5.27	9.34	4.75	9.55	5.48	1283.1	1280.2	1310.2	19.8	-28.3	-21.5	2.7	1.2	4.7
70.57	6.08	10.69	5.40	10.93	6.33	1286.2	1282.6	1318.9	25.2	-25.7	-21.5	3.1	1.9	5.3
80.65	6.90	12.04	6.06	12.32	7.18	1290.4	1287.6	1327.5	33.0	-20.9	-21.5	3.2	2.7	5.7
90.73	7.71	13.38	6.71	13.70	8.03	1295.1	1292.2	1336.2	40.2	-17.1	-21.5	3.5	3.5	6.4
100.81	8.52	14.73	7.36	15.08	8.87	1297.7	1300.5	1344.9	47.4	-9.7	-21.5	4.9	4.5	7.0
110.89	9.33	16.08	8.01	16.46	9.72	1307.9	1304.7	1353.5	64.4	3.3	-21.5	4.5	5.2	7.8
120.97	10.14	17.43	8.66	17.85	10.57	1312.5	1307.5	1362.2	87.4	9.5	-21.5	5.3	6.4	8.3
131.06	10.95	18.77	9.31	19.23	11.41	1317.7	1311.2	1370.8	104.6		-21.5	5.6	7.6	8.9
141.14	11.77	20.12	9.96	20.61	12.26	1324.1	1313.9	1379.5	121.6		-21.5	6.4	8.8	9.6
151.22	12.58	21.47	10.62	22.00	13.11	1334.7	1320.8	1389.3	145.4	74.9	-21.5	6.0	10.2	10.3
161.30	13.39	22.82	11.27	23.38	13.96	1342.9	1323.6	1272.0	179.4	151.0	-21.5	7.0	11.6	11.0
171.38	14.20	24.17	11.92	24.76	14.80	1353.1	1330.3	1357.0	205.2	201.6	-21.5	9.4	14.2	11.7
181.46	15.01	25.51	12.57	26.14	15.65	1359.5	1334.5	1463.5	230.8	251.6	-21.5	10.0	18.7	12.3
191.54	15.82	26.86	13.22	27.53	16.50	1376.0	1341.0	1101.2	264.4	304.0	-21.5	9.7	21.2	12.8
201.62	16.64	28.21	13.87	28.91	17.35	1382.5	1345.3	1344.3	287.4	348.0	-21.5	10.7	24.0	13.6
211.71	17.45	29.56	14.52	30.29	18.19	1391.0	1350.6	1374.3	307.5	392.4	-21.5	11.7	26.6	14.1
221.79	18.26	30.90	15.18	31.67	19.04	1397.7	1357.2	1409.1	329.3	411.9	-21.5	12.6	28.8	14.9
231.87	19.07	32.25	15.83	33.06	19.89	1400.4	1360.3	1210.1	353.5	411.9	-21.5	13.1	31.0	16.0
241.95	19.88	33.60	16.48	34.44	20.73	1408.9	1363.3	1400.0	379.3	411.9	-21.5	14.2	33.2	17.1
252.03	20.69	34.95	17.13	35.82	21.58	1417.3	1366.5	1463.9	398.5	411.9	-21.5	15.0	34.8	17.8
262.11	21.51	36.29	17.78	37.20	22.43	1428.9	1373.4	1466.4	411.9	411.9	-21.5	15.8	37.3	18.7
136.10	22.32	37.64	18.43	38.59	23.28	1440.4	1381.5	1410.2	411.9	411.9	-21.5	16.7	40.0	19.8
141.14	23.13	38.99	19.08	39.97	24.12	1451.6	1471.7		411.9	411.9	-21.5	17.6	41.7	17.4
146.18	23.94	40.34	19.74	41.35	24.97	1465.6	1490.0		411.9	411.9	-21.5	18.9	44.3	18.5
151.22	24.75	41.69	20.39	42.74	25.82	1471.7	1526.3		411.9	411.9	-21.5	20.1	48.2	20.3
156.26	25.57	43.03	21.04	44.12	26.66	1490.0	1561.6		411.9	411.9	-21.5	21.3	52.2	22.0

Los esfuerzos máximos obtenidos para los cables de presfuerzo ( $f_{ps}$ ) se indican en la tabla 3.23 en donde se considera el valor teórico del código ACI-318 y el esfuerzo obtenido de los ensayos en el instante en el que se alcanzó inicialmente el esfuerzo en el límite de fluencia en el acero convencional. Con estos esfuerzos se obtuvo la resistencia a la flexión ( $M_n$ ) tomando en cuenta un factor de reducción  $\varphi = 1.0$ .

Se realizó la comparación de los esfuerzos obtenidos (tablas 3.24 y 3.25) con los esfuerzos correspondientes a la resistencia a la flexión de la ecuación 18.4 del código ACI-318 ( $f_{ps}$ ) dando una diferencia de un 3 % menor en promedio para las zonas de momento positivo y de un 5 % menor para las zonas de momento negativo.

Se observó que los momentos máximos obtenidos mediante los ensayos, con respecto a esta misma resistencia teórica, fueron alrededor de un 42 % mayor, para las zonas de momento negativo y, de un 19 % mayor para las zonas de momento positivo. De acuerdo con estos resultados, se puede manifestar que la resistencia a la flexión de las vigas parcialmente presforzadas sigue desarrollándose hasta después de alcanzar los esfuerzos máximos en los cables de presfuerzo y, que también influye la contribución del acero de refuerzo convencional después de haber alcanzado su límite de fluencia.

Se compararon los esfuerzos de los cables y los momentos generados por las cargas aplicadas precisamente en el instante en que el acero convencional llegó al inicio de su límite de fluencia (tablas 3.24 y 3.25). Al comparar estos esfuerzos máximos de los cables obtenidos durante los ensayos, con respecto a los esfuerzos que se presentaron al momento en el que el acero de refuerzo convencional empezó a fluir, la diferencia fue de un 2 % mayor.

La relación entre el momento máximo de falla ( $M_{n \max}$ ), obtenido en cada ensaye, con respecto a los momentos obtenidos durante estos mismos ensayes cuando se alcanzó el inicio del esfuerzo en el límite de fluencia en el acero convencional ( $M_{n(fy)}$ ), fue de un 19 % mayor en promedio para la zona de los apoyos y de un 15 % mayor para los centros del claro.

También se observó que para las vigas con claros intermedios de 3.6 m, en las zonas de momento negativo, hay una diferencia de un 25 % mayor con respecto a la resistencia a la flexión teórica y una diferencia de un 28 % menor para el caso de estas mismas vigas en las zonas de momento positivo para los claros exteriores. Esta diferencia menor, para la zona de momento positivo, es debido a que en esta zona no se alcanzó su resistencia máxima al presentarse primeramente la falla en la zona de momento negativo con una diferencia de momentos de aproximadamente un 30 %. En el caso de las vigas con claros iguales de 2.4 m, los momentos negativos y positivos, son muy similares para el patrón de cargas utilizado en los ensayes.

En todos los casos anteriores, para la determinación de los momentos resistentes a la flexión, la relación de presforzado parcial (PPR) o la cantidad de acero de refuerzo convencional, incluida en las vigas, estuvo implícita al considerar la cantidad de este acero convencional en cada caso particular.

Tabla 3.23. Resistencia a la flexión teórica y con los esfuerzos de los cables obtenidos de los ensayos de las vigas.

TIPO DE VIGA:	V-1	V-2	V-3	V-4 +	V-4 -	V-5 +	V-5 -	V-6 +	V-6 -	V-7	V-8	V-9	V-10 +	V-10 -	V-11 +	V-11 -	V-12 +	V-12 -
Área de acero de presfuerzo, $A_{ps}$ (mm <sup>2</sup> ):	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Área de acero convencional a tensión adicional, $A_s$ (mm <sup>2</sup> ):	98	196	294	98	98	196	196	294	294	98	196	294	98	98	196	196	294	294
Área de acero convencional a compresión, $A'_s$ (mm <sup>2</sup> ):	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
$\gamma_p =$	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
$\beta_1 =$	0.73	0.76	0.80	0.75	0.75	0.79	0.79	0.79	0.79	0.77	0.79	0.79	0.77	0.77	0.77	0.77	0.78	0.78
$f_{se}$ (MPa) =	1268.7	1268.7	1268.7	1275.3	1275.3	1275.3	1275.3	1275.3	1275.3	1258.3	1258.3	1258.3	12,898	1264.9	1264.9	1264.9	1264.9	1264.9
$f'_c$ (Mpa) =	44.6	39.1	34.0	40.9	40.9	36.2	36.2	35.2	35.2	37.8	36.1	36.3	38.8	38.8	38.7	38.7	36.7	36.7
$\rho_p = A_{ps} / (bd_p)$	0.0033	0.0033	0.0033	0.0020	0.0033	0.0020	0.0033	0.0020	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0020	0.0033	0.0020	0.0033	0.0020	0.0033
$\omega_p =$	0.1393	0.1587	0.1823	0.0912	0.1520	0.1030	0.1717	0.1059	0.1765	0.1643	0.1723	0.1710	0.0958	0.1597	0.0962	0.1603	0.1016	0.1694
$\rho = A_s / bd$	0.0027	0.0054	0.0082	0.0016	0.0027	0.0033	0.0054	0.0049	0.0082	0.0027	0.0054	0.0082	0.0016	0.0027	0.0033	0.0054	0.0049	0.0082
$\omega =$	0.0251	0.0573	0.0987	0.0165	0.0274	0.0372	0.0620	0.0574	0.0956	0.0297	0.0622	0.0926	0.0173	0.0288	0.0347	0.0579	0.0550	0.0917
$\omega_p + d/d_p (w - w') < 0.32\beta_1 =$	0.1393	0.1899	0.2541	0.0912	0.1520	0.1233	0.2055	0.1476	0.2460	0.1643	0.2062	0.2384	0.0958	0.1597	0.1151	0.1918	0.1417	0.2361
$a$ (mm) = $(A_{ps} f_{ps} + A_s f_y) / (0.85 f'_c b) =$	17.8	24.1	32.2	12.1	19.4	16.2	26.1	19.3	31.3	20.6	26.0	30.1	12.6	20.2	15.1	24.3	18.5	29.9
$f_{ps}$ ec. 18.4 ACI-318 (MPa)	1471.2	1454.8	1439.6	1548.2	1466.5	1524.8	1452.4	1519.8	1449.5	1440.3	1435.1	1435.9	1527.9	1450.2	1527.3	1449.8	1516.8	1443.5
** $f_{ps}$ máximo ensayos (MPa)	1508.4	1595.4	1690.7	1355.1	1652.8	1368.2	1334.3	1544.4	1595.4	1359.1	1508.4	1526.4	1355.1	1652.8	1420.4	1443.3	1490.0	1561.6
$\phi M_n$ ACI-318 (con $f_{ps}$ de ec. 18.4)																		
$\phi M_n$ presfuerzo (kN-m) =	16.36	15.67	14.87	17.70	16.18	17.09	15.49	16.78	15.05	15.79	15.32	14.99	17.43	15.94	17.21	15.60	16.81	15.09
$\phi M_n$ refuerzo (kN-m) =	4.48	8.71	12.58	4.60	4.45	9.04	8.63	13.36	12.64	4.43	8.64	12.71	4.59	4.44	9.08	8.71	13.41	12.72
$\phi M_n$ total (kN-m) =	20.85	24.39	27.46	22.30	20.64	26.13	24.13	30.14	27.68	20.22	23.96	27.70	22.02	20.38	26.29	24.31	30.22	27.81
PPR =	0.78	0.64	0.54	0.79	0.78	0.65	0.64	0.56	0.54	0.78	0.64	0.54	0.79	0.78	0.65	0.64	0.56	0.54
$\phi M_n$ con $f_{ps}$ máximo de ensayos																		
$\phi M_n$ presfuerzo (kN-m) =	16.78	17.19	17.47	15.49	18.24	15.34	14.23	17.05	16.56	14.90	16.10	15.94	15.46	18.17	16.01	15.53	16.51	16.32
$\phi M_n$ refuerzo (kN-m) =	4.48	8.71	12.58	4.60	4.45	9.04	8.63	13.36	12.64	4.43	8.64	12.71	4.59	4.44	9.08	8.71	13.41	12.72
$\phi M_n$ total (kN-m) =	21.26	25.90	30.05	20.09	22.69	24.37	22.87	30.41	29.20	19.33	24.74	28.65	20.05	22.60	25.08	24.24	29.93	29.04
PPR =	0.79	0.66	0.58	0.77	0.80	0.63	0.62	0.56	0.57	0.77	0.65	0.56	0.77	0.80	0.64	0.64	0.55	0.56

\* Esfuerzo obtenido en los cables de presfuerzo cuando se alcanzó el inicio de la fluencia en el acero convencional a tensión.

\*\* Esfuerzo obtenido en los cables de presfuerzo cuando se alcanzó la carga máxima en los ensayos de las vigas.

+ Se refiere a la zona de Momento Positivo al centro del claro.

- Se refiere a la zona de Momento Negativo sobre los apoyos

Tabla 3.24. Esfuerzos en los cables de presfuerzo y momentos obtenidos de los ensayos de las vigas.

VIGA TIPO	V-1	V-2	V-3	V-4 +	V-4 -	V-5 +	V-5 -	V-6 +	V-6 -	V-7	V-8	V-9	V-10 +	V-10 -	V-11 +	V-11 -	V-12 +	V-12 -
LOCALIZACIÓN	Esfuerzo en los cables de presfuerzo ( $f_{ps}$ ) cuando el acero convencional alcanzó el $f_y$ (MPa)																	
CL 1	1425.3	1442.6	1652.5	1355.7				1462.4		1325.6	1508.4	1482.1	1258.3		1389.5		1417.3	
AP. 2	1338.3	1346.5			1358.2		1322.4			1392.3	1258.3			1258.3		1494.4		
CL2	1499.0		1630.4	1431.0				1458.8		1441.6		1700.2	1293.1				1381.5	
AP. 3																		
CL3		1535.0	1569.9			1319.7		1408.1			1490.0	1428.6			1454.8		1463.9	
	Esfuerzo en los cables de presfuerzo ( $f_{ps}$ ) para la carga máxima de los ensayos (MPa)																	
CL 1	1508.4	1595.4	1690.7	1355.1		1368.2		1544.4		1359.1	1508.4	1526.4	1355.1		1420.4		1490.0	
AP. 2	1490.0	1631.5			1652.8		1334.3		1595.4	1526.3	1258.3			1652.8		1443.3		1561.6
CL2	1499.0		1630.4					1595.4		1441.6		1700.2	1293.1				1561.6	
AP. 3																		
CL3		1612.1	1621.3			1345.1		1433.9			1490.0	1469.3			1508.4			
	Momento ( $M_n$ ) cuando el acero convencional alcanzó el $f_y$ (kN-m)																	
CL 1	19.98	25.54	29.25	21.01		21.00		29.36		14.13	18.19	22.25			18.26		20.70	
AP. 2	20.68	22.91	24.02	0.00	19.70		21.92		28.62	25.29	29.33	29.33		30.90		26.86		29.56
CL2	9.64	11.54	13.44	8.15		11.18		10.43		15.68	15.03	20.89	15.18		17.78		18.43	
AP. 3	21.32	23.62	24.77	0.00	20.31		22.60		29.51	25.92	30.07	30.07		31.67		27.53		30.29
CL3	20.72	26.49	30.34	21.78		21.77		30.45		14.74	18.97	23.21			19.04		21.58	
	Momento ( $M_n$ ) para la carga máxima de los ensayos (MPa)																	
CL 1	23.69	30.18	32.97	26.58		29.35		33.08		19.00	18.19	25.50	18.26		21.51		25.57	
AP. 2	28.49	36.29	39.63		31.96		35.29		39.77	32.03	30.68	42.81		30.90		36.29		43.03
CL2	9.64	12.30	13.44	10.81		11.94		13.47		15.68	15.03	20.89	15.18		17.78		21.04	
AP. 3	29.38	37.43	40.88		32.96		36.40		41.02	32.83	31.45	43.89		31.67		37.20		44.12
CL3	24.57	31.31	34.20	27.56		30.44		34.31		19.82	18.97	26.60	19.04		22.43		26.66	

+ Se refiere a la zona de Momento Positivo al centro del claro.

- Se refiere a la zona de Momento Negativo sobre los apoyos

Tabla 3.25. Relación de esfuerzos y momentos máximos con respecto a los esfuerzos y momentos cuando se alcanzó el límite de fluencia en el acero convencional y con respecto a los valores determinados con el código ACI-318.

SECCIÓN (mm) (LONGITUD)	150 x 300 (L = 7.5 m)	150 x 300 (L = 8.7 m)	150 x 500 (L = 7.5 m)	150 x 500 (L = 8.7 m)	RELACIÓN PROMEDIO
$f_{ps \text{ max. }} / f_{ps} (f_y)$					
% Promedio (CL1 y CL3)	1.05	1.02	1.02	1.03	1.02
% Promedio AP.2 y AP. 3	1.16	1.05	1.11	1.00	1.02
$f_{ps \text{ max. }} / f_{ps} \text{ (ACI)}$					
% Promedio (CL1 y CL3)	1.08	1.00	0.90	0.91	0.97
% Promedio AP.2 y AP. 3	1.05	0.95	1.00	0.85	0.95
$M_n \text{ max. } / M_n (f_y)$					
% Promedio (CL1 y CL3)	1.16	1.16	1.26	1.21	1.15
% Promedio AP.2 y AP. 3	1.54	1.26	1.54	1.27	1.19
$M_n \text{ max. } / M_n \text{ (ACI)}$					
% Promedio (CL1 y CL3)	1.21	0.89	1.16	0.85	0.89
% Promedio AP.2 y AP. 3	1.46	1.49	1.51	1.54	1.42

## CAPÍTULO 4

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

1. La rigidez a la flexión obtenida para los elementos parcialmente presforzados con cables no adheridos, disminuye conforme a las figuras 3.4 a 3.15 a partir del inicio del agrietamiento y se puede considerar que esta variación es lineal con una pendiente equivalente a la relación de la inercia transformada agrietada y de la inercia no agrietada de la sección transversal y también está en función del momento actuante para la etapa en la que se quiere determinar las deflexiones, del momento resistente a la flexión y del momento de agrietamiento.
2. La siguiente expresión propuesta (ecuación 3.1), es adecuada para determinar el factor de rigidez a la flexión ( $FR$ ) de una viga parcialmente presforzada continua con cables no adheridos la cual fue verificada mediante los resultados experimentales obtenidos de los ensayos de las vigas.

$$FR = \left[ 1 - \left( \frac{M_a - M_{cr}}{M_n - M_{cr}} \right) \left( 1 - \frac{I_{cr}}{I_g} \right) \right]$$

3. La rigidez a la flexión de este tipo de elementos, se obtiene mediante la multiplicación del factor de rigidez " $FR$ " de la ecuación anterior (ecuación 3.1), del módulo de elasticidad del concreto y de la inercia no agrietada de la

sección transversal ( $FR \cdot E \cdot I$ ), la cual se involucraría en la determinación de las deflexiones.

4. El ancho de grieta se puede estimar en función de las deformaciones unitarias que ocurren en el concreto en la zona de tensión para una sección agrietada en particular y para una etapa de carga considerada realizando un análisis de compatibilidad de deformaciones unitarias tomando en cuenta las deformaciones en el concreto y en el acero convencional y, considerando que el esfuerzo en el acero de presfuerzo no es compatible con las deformaciones unitarias en la sección considerada pero si es compatible a lo largo del elemento y varía linealmente desde el esfuerzo efectivo después de pérdidas ( $f_{se}$ ) hasta el esfuerzo máximo determinado con la ecuación 18.4 del código ACI-318 ( $f_{ps}$ ) en el instante que se alcanza el inicio de la fluencia del acero de refuerzo convencional.
5. La siguiente expresión (ecuación 3.2), se propuso para determinar el ancho de grieta de una sección transversal de una viga parcialmente presforzada, la cual involucra la distribución del acero convencional en la zona de tensión, la relación de presforzado parcial (PPR) y la deformación unitaria en la fibra de tensión del concreto. Esta ecuación fue verificada conforme a los anchos de grieta obtenidos experimentalmente durante los ensayos con una diferencia de -16 % a + 18 %.

$$\omega = K_w [(\varepsilon_{ct} - \varepsilon_{cr}) \cdot \sqrt[3]{d_c A_b \cdot PPR}]$$

6. La relación que existe entre la rigidez a la flexión y el grado de agrietamiento de un elemento de concreto parcialmente presforzado con cables no adheridos, para una sección transversal en particular, depende de la compatibilidad de deformaciones unitarias entre el acero convencional adherido y el concreto, de los esfuerzos en los cables de presfuerzo que varían linealmente, de la resistencia a la flexión, de la inercia de la sección



transformada agrietada y no agrietada y, principalmente, de la distribución del acero convencional en la zona de tensión que está en función de la relación de presforzado parcial y del esfuerzo de agrietamiento del concreto.

7. Es posible correlacionar el comportamiento de los elementos parcialmente presforzados con cables no adheridos realizando un análisis momento-curvatura tomando en cuenta la compatibilidad de deformaciones unitarias entre el acero convencional adherido y el concreto y, considerar adicionalmente, los esfuerzos de los cables de presfuerzo variando linealmente desde el esfuerzo efectivo después de pérdidas hasta el esfuerzo correspondiente a la resistencia a la flexión basado en las deformaciones medias que se generan a lo largo de estos elementos.
8. Para una etapa de carga intermedia entre el inicio del agrietamiento y la resistencia a la flexión, el ancho de grieta se estimaría con la ecuación 3.2, para el momento actuante correspondiente y, este mismo momento, se involucraría en la ecuación 3.1 para establecer el factor de rigidez " $FR$ " y con ello determinar la rigidez a la flexión y las deflexiones al centro del claro en función de la geometría del elemento y su sección transversal.
9. El modelo propuesto para la determinación de la rigidez a la flexión y los anchos de grieta, para cargas de servicio, se puede utilizar para estimar, estos mismos parámetros teóricamente, con una precisión adecuada, utilizando los valores de los esfuerzos en el acero de presfuerzo estimados por los códigos vigentes, las deformaciones unitarias obtenidas de un análisis de compatibilidad de deformaciones y con la geometría de la sección transversal correspondiente.
10. La resistencia a la flexión ( $M_h$ ) que se determina con las expresiones teóricas, comparada con los resultados obtenidos de los ensayos, corresponde a la resistencia a la flexión de este tipo de elementos cuando se alcanza el inicio de la fluencia en el acero convencional considerándose

teóricamente un comportamiento elástico completamente plástico ignorando conservadoramente el endurecimiento por deformación.

11. La resistencia a la flexión de un elemento de concreto parcialmente presforzado con cables no adheridos puede ser mayor hasta en un 19 % para las zonas de momento positivo y hasta en un 45 % para las zonas de momento negativo con respecto a la resistencia a la flexión ( $M_n$ ) estipulada por el código ACI-318.

## **4.2 Recomendaciones**

1. Se recomienda verificar las reacciones secundarias que se generan por la fuerza de presfuerzo en los elementos continuos, utilizando celdas de carga con mayor precisión que las usadas en esta investigación, debido a que la variación de estas reacciones es relativamente pequeña para el tipo de elementos ensayados.
2. También, se recomienda determinar la variación de las reacciones secundarias, inicialmente sin cargas aplicadas sobre las vigas, considerando únicamente el peso propio del elemento, para ver la variación producida por el post-tensado y por el flujo plástico del concreto y, adicionalmente determinar estas reacciones para diferentes etapas de carga tomando en cuenta la redistribución de momentos.
3. Para elaborar los diagramas momento-curvatura de una sección transversal de una viga parcialmente presforzada, se recomienda considerar las siguientes hipótesis:

- a) Las fuerzas internas de tensión y de compresión actuando en la sección transversal deben estar en equilibrio.
  - b) Las deformaciones unitarias en el concreto y en el acero convencional se suponen que varían linealmente a lo largo del peralte de la viga.
  - c) Los cables de presfuerzo no están adheridos por lo que sus deformaciones unitarias no son compatibles en la sección considerada pero la presencia del acero de presfuerzo se debe involucrar como una fuerza interna que puede ser determinada con las deformaciones obtenidas de los ensayos de las vigas.
  - d) Las deformaciones unitarias en concreto y en el acero convencional que se consideren serán las que se obtengan directamente de los ensayos.
  - e) Los diagramas de esfuerzos para la zona de compresión y los módulos de elasticidad, se deben proponer conforme a la información obtenida de las gráficas de los ensayos de los cilindros de concreto a compresión.
4. Para el caso de elementos con cables no adheridos se menciona, en la literatura técnica, que estos cables son libres a deslizarse dentro de los ductos a lo largo de su longitud, sin embargo, de acuerdo con la información obtenida, las deformaciones unitarias no corresponden a este comportamiento debido a que lógicamente existe fricción en donde los cables de presfuerzo hacen contacto con los ductos, por lo que habría que investigar esta situación para diferentes casos de trayectoria de cables para elementos continuos.
5. Al presentarse la falla del concreto, sobre los apoyos intermedios en los elementos ensayados, para estudios posteriores de investigación, se

recomienda tomar en cuenta una mayor resistencia del concreto considerando las mismas cantidades de acero de presfuerzo y acero convencional y determinar un valor apropiado de la resistencia del concreto para aprovechar la presencia de la capacidad del acero de presfuerzo para la etapa de cargas máximas.

6. En esta investigación se estudiaron elementos con una relación claro-peralte de 16 y 24, por lo que para futuros trabajos, también se recomienda considerar relaciones claro-peralte mayores.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AASHTO (2012), "AASHTO LRFD Bridge Design Specifications," American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
2. ACI Committee 224 (2001), "Control of Cracking in Concrete Structures", ACI Committee Report 224R-1999, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
3. ACI Committee 318 (2014), "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI-318-2014)", American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
4. ACI-ASCE Committee 423 (2001). "Specification for Unbonded Single-Strand Tendons and Commentary", ACI-ASCE Committee Report 423.6-01/423.6R-01, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
5. ACI-ASCE Committee 423 (2005). "Recommendations for Concrete Members with Unbonded Tendons", ACI-ASCE Committee Report 423.3R-05, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
6. ACI-ASCE Committee 423 (1999). "State-of-the-Art Report on Partially Prestressed Concrete" ACI-ASCE Committee Report 423.5R-99, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
7. ACI Committee 435 (2000), "Control of Deflection in Concrete Structures", ACI Committee Report 435R-1995, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.

8. Allouche E., Campbell I., Green M., Soudki K. (1998), "Tendon Stress in Continuous Unbonded Prestressed Concrete Members-Part 1: Review of Literature", PCI Journal, V.12, No. 6, Nov.-Dec. pp. 86-93.
9. Allouche E., Campbell I., Green M., Soudki K. (1999), "Tendon Stress in Continuous Unbonded Prestressed Concrete Members-Part 2: Parametric Study", PCI Journal, V.44, No. 1, Jan-Feb., pp. 60-78.
10. ASTM A416 / A416M (2010), "Standard Specification of steel strand, Uncoted Seven-Wire for Prestressed Concrete", ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA.
11. ASTM A615 / A615M (2009), "Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement", ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA.
12. ASTM C31 / C31M (2010), "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field", ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA.
13. ASTM C39 / C39M (2011), "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens", ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA.
14. ASTM C143 / C143M (2010), "Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete", ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA.
15. ASTM C157 / C157M (2008), "Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic Cement, Mortar and Concrete", ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA.

16. ASTM C469 /C469M (2010), "Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression", ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA.
17. ASTM A510 / A510M (2011), "Standard Specification for General Requirements for Wire Rods and Coarse Round Wire, Carbon Steel", ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA.
18. Alkhairi, F. and Naaman, A. (1993), "Analysis of Beams Prestressed with Unbonded Internal or External Tendons." Journal of Structural Engineering, Vol. 119, Issue 9 September, pp. 2680-2700.
19. Au F.T.K., Du J. S., Cheung Y. K. (2005), "Service load analysis of unbonded partially prestressed concrete members", The University of Hong Kong; Beijing Jiaotong University, Magazine of Concrete Research, V. 57, No. 4, May, pp. 199–209.
20. Au F.T.K., Du J. S. (2004), "Prediction of ultimate stress in unbounded prestressed tendons", University of Hong Kong, Magazine of Concrete Research, V. 56, No. 1, February, pp. 1-11.
21. Branson, D.E., and Trost, H. (1982), "Unified Procedures for Predicting the Deflection and Centroidal Axis Location of Partially Cracked Non-Prestressed Members." ACI JOURNAL, Proceedings, V. 79, No. 2, Mar.-Apr. 1982, pp. 119-130.
22. Branson, D. E., and Trost, H. (1982), "Application of the Effective Method in Calculating Deflections of Partially Prestressed Members." PCI Journal, V. 27, No. 6, Dec. 1982, pp. 86-111.
23. Branson, D.E., and Shaikh, A.F. (1977), "Deflection of Partially Prestressed Members." SP-86, American Concrete Institute, Detroit, 1985, pp. 323-363.

Branson, D. E., Deformation of Concrete Structures, New York: McGraw Hill, 1977, pp. 546.

24. Branson, D. E., and Shaikh, A. F. (1985), "Deflection of Partially Prestressed Members," Deflections of Concrete Structures, SP-86, G. M. Sabnis, Ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan., pp. 323-363.

25. Campbell, T. I., and Chouinard, K. L. (1991), "Influence of Nonprestressed Reinforcement on the Strength of Unbonded Partially Prestressed Concrete Members," ACI Structural Journal, V. 88, No. 5, Sept.-Oct., pp. 546-551.

26. CEB-FIP (2012), CEB-FIP Model Code 2010 Comité Euro-International du Béton, Lausanne, Switzerland.

27. Chakrabarti P. (1995) "Ultimate Partially Stress for Unbonded Post-Tensioning Tendons In Prestressed Beams", ACI Structural Journal, Vol. 92 No. 6, Nov.-Dec., pp. 689-697.

28. Chakrabarti P., Whang T., Brown W., Arsad K., Amezeua E., (1994) "Unbonded Post-Tensioning Tendons and Partially Prestressed Beams", ACI Structural Journal, Vol. 91 No. 5, Sep.- Oct., pp. 616-625.

29. Chowdhury S. (1999), "Damping Characteristics of Reinforced and Partially Prestressed Concrete Beams", Ph D Thesis, School of Engineering, Faculty of Engineering, Griffith University, Queensland, Australia, April.

30. Chern J., You C., Bazant Z. (1992), "Deformation of Progressively Cracking Partially Prestressed Concrete Beams", PCI Journal, Vol. 37, No. 1, Jan-Feb., pp. 74-84.



31. Debernardi P. G., Guiglia M., and Taliano M. (2013) "Effect of Secondary Cracks for Cracking Analysis of Reinforced Concrete Tie" ACI Structural Journal, Title No. 110-M20, March-April., 2013, pp. 207-214.
32. DeStefano R., Evans J., Tadros M., Sun C. (2003) "Flexural Crack Control in Concrete Bridge Structures" ISHPC 1, Department of Transportation Pennsylvania.
33. Diep B., NIWA J. (2006), "Prediction of Loading-Induced Stress in Unbonded Tendons at Ultimate", Dept. of Civil Engineer, Tokio Institute of Technology, Tokio Japan.
34. Du, G., and Tao, X. (1985), "Ultimate Stress of Unbonded Tendons in Partially Prestressed Concrete Beams," PCI Journal, V. 31, No. 6, 1985, pp. 72-91.
35. Du J., Au F., Cheung Y., Kwan A. (2008) "Ductility analysis of prestressed concrete beams with unbonded tendons," Engineering Structures, V. 30, Issue 1, January, pp. 13-21.
36. Ghallab, A. (2013). "Calculating ultimate tendon stress in externally prestressed continuous concrete beams using simplified formulas." Engineering Structures", Vol. 10, pp. 417-430.
37. Gergely, P., and Lutz, L. A. (1968), "Maximum Crack Width in Reinforced Concrete Flexural Members, Causes, Mechanism, and Control of Cracking in Concrete", SP-20, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, pp. 87-117.
38. Gribniak V., Kaklauskas G., (2014) "Improving the Deflection Prediction Model from ACI 318", ACI Structural Journal, Vol. 111 No. 6, Nov.-Dec., pp. 1491-1496.

39. Gribniak, V.; Cervenka, V.; and Kaklauskas, G., (2013), "Deflection Prediction of Reinforced Concrete Beams by Design Codes and Computer Simulation" *Engineering Structures*, V. 56, pp. 2175-2186.
40. Harajli M. (2012), "Tendon Stress at Ultimate in Continuous Unbonded Post-Tensioned Members: Proposed Modification of ACI 318, Eq. (18-4) and (18-5)", *ACI Structural Journal*, Vol. 109 No. 2, March-April, pp. 183-192.
41. Harajli, M. H. (2011), "Proposed Modification of AASHTO LRFD for Computing Stress in Unbonded Tendons at Ultimate," *Journal of Bridge Engineering*, ASCE, V. 16, No. 6, Nov. 2011, 11 pp. 828 – 838.
42. Harajli, M. H. (2006), "On the Stress in Unbonded Tendons at Ultimate: Critical Assessment and Proposed Changes," *ACI Structural Journal*, V. 103, No. 6, Nov.-Dec. 2006, pp. 803-812.
43. Harajli, M. H., and Kanj, M. Y. (1992), "Service Load Behavior of Concrete Members Prestressed with Unbonded Tendons," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 118, No. 9, pp. 2569-2589.
44. Harajli M. and Hijazi S. (1991), "Evaluation of the Ultimate Steel Stress in Partially Prestressed Concrete Members" *PCI Journal*, Vol. 36 No. 1, Jan-Feb pp. 62-82.
45. Harajli M. and Naaman A. E., (1984), "Deformation and Cracking of Partially Prestressed Concrete Beams Under Static and Cyclic Fatigue Loading" Report No. UMEE 84R1, Department of Civil Engineering The University of Michigan College of Engineering Ann Arbor, Michigan 48109 August.
46. Harajli, M. and Alameh, A., (1989), "Deflection of Progressively Cracking Partially Prestressed Concrete Flexural Members" *PCI Journal*, Vol. 34 No. 3, May-Jun., pp. 94-128.

47. Hayashi M., Okamoto S., Otani S., Kato H. and Jinhua F. (1995), "Earthquake response of an eleven-story precast prestressed concrete building by substructure pseudo dynamic test", 12<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 22236/A/ST 38. 2000, pp. 8. International Building Code 2003. International Code Council.
48. He, Z. and Liu, Z. (2010). "Stresses in External and Internal Unbonded Tendons: Unified Methodology and Design Equations." Journal of Structural Engineering (ASCE), Vol. 136, Issue 9, September 2010, pp. 1055-1065.
49. Hussien O. F. Elafandy T. H. K., Abdelrahman A. A, Baky S.A. A., Nasr E.A. (2012), "Behavior of bonded and unbonded prestressed normal and high strength concrete beams" HBRC Journal Volume 8, Issue 3, December 2012, pp. 239–251
50. Karayannis C. G., Constantin E. Chalioris (2013), "Design of partially prestressed concrete beams based on the cracking control provisions" Engineering Structures, Volume 48, March, Pages 402-416.
51. Kim K., Lee D. (2012a) "Nonlinear analysis method for continuous post-tensioned concrete members with unbonded tendons," Engineering Structures, V. 40, July, pp. 487-500.
52. Kim K., Lee D. (2012b) "Flexural behavior model for post-tensioned concrete members with unbonded tendons," Computers and Concrete, V. 10, No. 3, pp. 241 - 258.
53. Lin T. Y., Burns Ned H. (1982), "Design of Prestressed Concrete Structures", John Wiley and Sons, New York.
54. Lou, T., Lopes, S., and Lopes, A. (2012). "Flexural Response of Continuous Concrete Beams Prestressed with External Tendons." Journal of Bridge Engineering, Vol.18, Issue 6, June, pp. 525-537.

55. Lou, T., Lopes, S., and Lopes, A. (2013). "Nonlinear and time-dependent analysis of continuous unbonded prestressed concrete beams." Computers and Structures", Vol. 10, pp. 166-176.
56. Mattock A., (1984) "Modification of ACI Code Equation for Stress in Bonded Prestressed Reinforcement at Flexural Ultimate" ACI Structural Journal, Vol. 81 No. 4, July-August, pp. 331-337.
57. Mattock A., Yamazaki J., Kattula B. (1971) "Comparative Study of Prestressed Concrete Beams, With and Without Bond" ACI Structural Journal, Title No. 68-13 February, pp. 116-125.
58. Marzouk H., Hossin M., and Hussein A. (2010) "Crack Width Estimation for Concrete Plates" ACI Structural Journal, Title No. 107-S27, May-June, pp. 282-290.
59. Meier W. S., Gergely P., (1981) "Flexural Crack Width in Partially Prestressed Concrete Beams" Journal of Structural Division, Vol. 107, No. 2, February, pp. 429-433.
60. Nawy Edward G. (2006), "Prestressed Concrete A Fundamental Approach, Fifth Edition", Pearson Prentice Hall.
61. Naaman, A. E., and Alkhairi, M. F. (1991), "Stress at Ultimate in Unbonded Post-Tensioning Tendons: Part 1—Evaluation of the State-of-the-Art," ACI Structural Journal, V. 88, No. 5, Sept.-Oct., pp. 641-651.
62. Naaman, A. E., and Alkhairi, M. F. (1991), "Stress at Ultimate in Unbonded Post-Tensioning Tendons: Part 2—Proposed Methodology," ACI Structural Journal, V. 88, No. 6, Nov.-Dec., pp. 683-692.
63. Naaman A. E. (1980), "Partially Prestressed Beams: A Unified Design Procedure for Strength and Serviceability", Proceedings of the FIP Symposium

on Partial Prestressing and Practical Construction in Prestressed and Reinforced Concrete, Bucharest, Romania pp. 236-249.

64. Naaman A. E. (1982), "Analysis and Design of Partially Prestressed Concrete Beams", Department of Materials Engineering, University of Illinois, Chicago Illinois, U.S.A.

65. Naaman A. E., (1985), "Partially Prestressed Concrete: Review and Recommendations," PCI Journal, V.30, No. 6, Nov.-Dec, pp. 30-71.

66. Naaman A. E., Harajli M. Wight J. (1986), "Analysis of Ductility in Partially Prestressed Concrete Flexural Members" PCI Journal, May-June pp. 64-87.

67. Naaman, A. E.; Burns, N.; French, C.; Gamble, W. L.; and Mattock, A. H. (2002), "Stresses in Unbonded Prestressing Tendons at Ultimate: Recommendation," ACI Structural Journal, V. 99, No. 4, July-Aug. 2002, pp. 518-529.

68. Nilson A. H. (1982), "Diseño de Estructuras de Concreto Presforzado", México, LIMUSA.

69. Ozkul, O.; Nassif, H.; Tanchan, P.; and Harajli, M. H., "Rational Approach for Predicting Stress in Beams with Unbonded Tendons," ACI Structural Journal, V. 105, No. 3, May-June 2008, pp. 338-347.

70. Ozkul, O., Nassif, H., Malhas F. (2005), "Deflection Prediction and Cracking of Beams Prestressed with Unbonded Tendons," ACI Structural Journal, V. 225, No. 2, March-April, pp. 93-118.

71. Politalski W. (2008), "Stress increment in unbounded tendons due to the Third-Point Loading of a Prestressed Concrete Slab", Cracow University of Technology, Civil Engineering Faculty, Institute of Building Materials and Structures, Poland.

72. Tadros M., Ghali A., Meyer A., (1985), "Prestressed Loss and Deflection of Precast Concrete Member" PCI Journal, V. 30, No. 1, Jan-Feb., pp. 114-141.
73. Tadros, M.K., and Ghah, A., "Deflection of Cracked Prestressed Concrete Members" SP-86, American Concrete Institute, Detroit, pp. 137-166.
74. Tam, A., and Pannell, F. N. (1976), "Ultimate Moment of Resistance of Unbonded Partially Prestressed Reinforced Concrete Beams," Magazine of Concrete Research, V. 28, No. 97, pp. 203-208.
75. Rocha L. (2008), "El uso del presfuerzo en la edificación", Revista Construcción y Tecnología, Instituto del Cemento Portland Argentino, Argentina, Agosto.
76. Sato, R., Nakarai, K., Ogawa, Y. and Kawai, K. (2013). "An Effective Flexural Stiffness Equation for Long-Term Deflection of Prestressed Concrete with and without Cracks". Mechanics and Physics of Creep, Shrinkage and Durability of Concrete: pp. 451-458.
77. Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi (2004), "Diseño y Control de Mezclas de Concreto", Portland Cement Association (PCA), Boletín de Ingeniería EB201, Skokie, Illinois, USA.
78. N.A. Vu, A. Castel, R. François (2010) "Response of post-tensioned concrete beams with unbonded tendons including serviceability and ultimate state", Engineering Structures, Volume 32, Issue 2, February, Pages 556-569
79. Yang K., Kang T. (2011), "Equivalent Strain Distribution Factor for Unbonded Tendon Stress at Ultimate", ACI Structural Journal, Vol. 108 No. 2, March-April, pp. 217-226.

80. Zheng. W., Wang X. (2010), "Ultimate Stress in Unbonded Tendons in Prestressed Concrete Beams", Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics and Engineering), No. 11 (12), pp. 998-1014.
81. Zeng. D., Wang, G. Xie J., and Zheng, X. (2014). "Exploratory Experimental Study on Fatigue Prestress Loss of Prestressed Concrete Beams." J. Highway Transp. Res. Dev. (English Ed.), 10.1061/JHTRCQ.0000378, pp.37-41.
82. Zhou W. and Zheng. W. (2014), "Unbonded Tendon Stresses in Continuous Post-Tensioned Beams", ACI Structural Journal, Vol. 111 No. 3, May-June, pp. 525-536.

## **APÉNDICES**



## **APÉNDICE A**

### **PRESIÓN DE TENSADO Y ALARGAMIENTOS EN CABLES DE PRESFUERZO**

La fuerza de presfuerzo se transfirió a los cables en incrementos de 40 Bares hasta completar una presión total de 160 bares correspondiente a una fuerza de 75.32 kN. Para cada incremento de presión se registraron lecturas de alargamientos para verificar la fuerza transmitida correspondiente. En las siguientes tablas se indica el alargamiento de los cables para cada uno de los incrementos de fuerza de presfuerzo y para cada uno de los cables de las 24 vigas. El alargamiento promedio en vigas de 7.5 m de longitud (V-1 a V-6) fue de 51.83 mm y para vigas de 8.7 m (V-7 a V-12) fue de 59.71 mm.

**TABLA A.1**

**Presión de tensado y alargamientos en cables de presfuerzo (vigas V-1, V-2 y V-3).**

<b>VIGA (CABLE)</b>	<b>PRESIÓN (BARS)</b>	<b>MEDIDO (mm)</b>	<b>DESPLAZADO (mm)</b>	<b>CORRECCIÓN (mm)</b>	<b>ALARGAM. TOTAL (mm)</b>
<b>V-1A (CABLE 1)</b>	40	71	0	12	12
	80	83	12	12	24
	120	97	26	12	38
	160	111	40	12	<b>52</b>
<b>V-1A (CABLE 2)</b>	40	67	0	12	12
	80	79	12	12	24
	120	92	25	12	37
	160	106	39	12	<b>51</b>
<b>V-1B (CABLE 1)</b>	40	74	0	13	13
	80	87	13	13	26
	120	99	25	13	38
	160	114	40	13	<b>53</b>
<b>V-1B (CABLE 2)</b>	40	67	0	13	13
	80	80	13	13	26
	120	92	25	13	38
	160	107	40	13	<b>53</b>
<b>V-2A (CABLE 1)</b>	40	79	0	13	13
	80	92	13	13	26
	120	104	25	13	38
	160	119	40	13	<b>53</b>
<b>V-2A (CABLE 2)</b>	40	82	0	13	13
	80	95	13	13	26
	120	106	24	13	37
	160	121	39	13	<b>52</b>
<b>V-2B (CABLE 1)</b>	40	71	0	13	13
	80	84	13	13	26
	120	97	26	13	39
	160	111	40	13	<b>53</b>
<b>V-2B (CABLE 2)</b>	40	71	0	14	14
	80	85	14	14	28
	120	97	26	14	40
	160	112	41	14	<b>55</b>
<b>V-3A (CABLE 1)</b>	40	69	0	13	13
	80	82	13	13	26
	120	94	25	13	38
	160	109	40	13	<b>53</b>
<b>V-3A (CABLE 2)</b>	40	69	0	13	13
	80	82	13	13	26
	120	94	25	13	38
	160	109	40	13	<b>53</b>
<b>V-3B (CABLE 1)</b>	40	71	0	12	12
	80	83	12	12	24
	120	95	24	12	36
	160	109	38	12	<b>50</b>
<b>V-3B (CABLE 2)</b>	40	68	0	11	11
	80	79	11	11	22
	120	92	24	11	35
	160	107	39	11	<b>50</b>

**TABLA A.2**

**Presión de tensado y alargamientos en cables de presfuerzo (vigas V-4, V-5 y V-6).**

<b>VIGA (CABLE)</b>	<b>PRESIÓN (BARS)</b>	<b>MEDIDO (mm)</b>	<b>DESPLAZADO (mm)</b>	<b>CORRECCIÓN (mm)</b>	<b>ALARGAM. TOTAL (mm)</b>
<b>V-4A (CABLE 1)</b>	40	72	0	14	14
	80	86	14	14	28
	120	98	26	14	40
	160	112	40	14	<b>54</b>
<b>V-4A (CABLE 2)</b>	40	68	0	14	14
	80	82	14	14	28
	120	95	27	14	41
	160	108	40	14	<b>54</b>
<b>V-4B (CABLE 1)</b>	40	70	0	13	13
	80	83	13	13	26
	120	95	25	13	38
	160	109	39	13	<b>52</b>
<b>V-4B (CABLE 2)</b>	40	69	0	12	12
	80	81	12	12	24
	120	93	24	12	36
	160	105	36	12	<b>48</b>
<b>V-5A (CABLE 1)</b>	40	70	0	13	13
	80	83	13	13	26
	120	95	25	13	38
	160	109	39	13	<b>52</b>
<b>V-5A (CABLE 2)</b>	40	70	0	12	12
	80	82	12	12	24
	120	94	24	12	36
	160	109	39	12	<b>51</b>
<b>V-5B (CABLE 1)</b>	40	70	0	13	13
	80	83	13	13	26
	120	96	26	13	39
	160	109	39	13	<b>52</b>
<b>V-5B (CABLE 2)</b>	40	68	0	13	13
	80	81	13	13	26
	120	94	26	13	39
	160	107	39	13	<b>52</b>
<b>V-6A (CABLE 1)</b>	40	74	0	12	12
	80	86	12	12	24
	120	98	24	12	36
	160	112	38	12	<b>50</b>
<b>V-6A (CABLE 2)</b>	40	76	0	12	12
	80	88	12	12	24
	120	100	24	12	36
	160	114	38	12	<b>50</b>
<b>V-6B (CABLE 1)</b>	40	69	0	12	12
	80	81	12	12	24
	120	93	24	12	36
	160	106	37	12	<b>49</b>
<b>V-6B (CABLE 2)</b>	40	74	0	13	13
	80	87	13	13	26
	120	100	26	13	39
	160	113	39	13	<b>52</b>

**TABLA A.3**

**Presión de tensado y alargamientos en cables de presfuerzo (vigas V-7, V-8 y V-9).**

<b>VIGA (CABLE)</b>	<b>PRESIÓN (BARS)</b>	<b>MEDIDO (mm)</b>	<b>DESPLAZADO (mm)</b>	<b>CORRECCIÓN (mm)</b>	<b>ALARGAM. TOTAL (mm)</b>
<b>V-7A (CABLE 1)</b>	40	77	0	14	14
	80	91	14	14	28
	120	106	29	14	43
	160	121	44	14	<b>58</b>
<b>V-7A (CABLE 2)</b>	40	71	0	14	14
	80	85	14	14	28
	120	99	28	14	42
	160	114	43	14	<b>57</b>
<b>V-7B (CABLE 1)</b>	40	71	0	14	14
	80	85	14	14	28
	120	105	34	14	48
	160	118	47	14	<b>61</b>
<b>V-7B (CABLE 2)</b>	40	70	0	14	14
	80	84	14	14	28
	120	99	29	14	43
	160	116	46	14	<b>60</b>
<b>V-8A (CABLE 1)</b>	40	71	0	15	15
	80	86	15	15	30
	120	102	31	15	46
	160	117	46	15	<b>61</b>
<b>V-8A (CABLE 2)</b>	40	68	0	15	15
	80	83	15	15	30
	120	98	30	15	45
	160	112	44	15	<b>59</b>
<b>V-8B (CABLE 1)</b>	40	73	0	16	16
	80	89	16	16	32
	120	104	31	16	47
	160	120	47	16	<b>63</b>
<b>V-8B (CABLE 2)</b>	40	68	0	16	16
	80	84	16	16	32
	120	99	31	16	47
	160	115	47	16	<b>63</b>
<b>V-9A (CABLE 1)</b>	40	84	0	15	15
	80	99	15	15	30
	120	113	29	15	44
	160	128	44	15	<b>59</b>
<b>V-9A (CABLE 2)</b>	40	71	0	14	14
	80	85	14	14	28
	120	99	28	14	42
	160	118	47	14	<b>61</b>
<b>V-9B (CABLE 1)</b>	40	71	0	13	13
	80	84	13	13	26
	120	104	33	13	46
	160	115	44	13	<b>57</b>
<b>V-9B (CABLE 2)</b>	40	77	0	14	14
	80	91	14	14	28
	120	106	29	14	43
	160	121	44	14	<b>58</b>

**TABLA A.4**

**Presión de tensado y alargamientos en cables de presfuerzo (vigas V-10, V-11 y V-12).**

<b>VIGA (CABLE)</b>	<b>PRESIÓN (BARS)</b>	<b>MEDIDO (mm)</b>	<b>DESPLAZADO (mm)</b>	<b>CORRECCIÓN (mm)</b>	<b>ALARGAM. TOTAL (mm)</b>
<b>V-10A (CABLE 1)</b>	40	75	0	15	15
	80	90	15	15	30
	120	105	30	15	45
	160	120	45	15	<b>60</b>
<b>V-10A (CABLE 2)</b>	40	65	0	16	16
	80	81	16	16	32
	120	94	29	16	45
	160	110	45	16	<b>61</b>
<b>V-10B (CABLE 1)</b>	40	72	0	15	15
	80	87	15	15	30
	120	104	32	15	47
	160	118	46	15	<b>61</b>
<b>V-10B (CABLE 2)</b>	40	71	0	14	14
	80	85	14	14	28
	120	101	30	14	44
	160	116	45	14	<b>59</b>
<b>V-11A (CABLE 1)</b>	40	75	0	15	15
	80	90	15	15	30
	120	110	35	15	50
	160	123	48	15	<b>63</b>
<b>V-11A (CABLE 2)</b>	40	70	0	15	15
	80	85	15	15	30
	120	105	35	15	50
	160	118	48	15	<b>63</b>
<b>V-11B (CABLE 1)</b>	40	73	0	14	14
	80	87	14	14	28
	120	104	31	14	45
	160	120	47	14	<b>61</b>
<b>V-11B (CABLE 2)</b>	40	71	0	14	14
	80	85	14	14	28
	120	102	31	14	45
	160	118	47	14	<b>61</b>
<b>V-12A (CABLE 1)</b>	40	78	0	10	10
	80	88	10	10	20
	120	104	26	10	36
	160	120	42	10	<b>52</b>
<b>V-12A (CABLE 2)</b>	40	72	0	10	10
	80	82	10	10	20
	120	96	24	10	34
	160	113	41	10	<b>51</b>
<b>V-12B (CABLE 1)</b>	40	69	0	16	16
	80	85	16	16	32
	120	104	35	16	51
	160	116	47	16	<b>63</b>
<b>V-12B (CABLE 2)</b>	40	70	0	15	15
	80	85	15	15	30
	120	104	34	15	49
	160	116	46	15	<b>61</b>

## APÉNDICE B

### CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE PRESFUERZO

Las pérdidas de presfuerzo se determinan conforme al procedimiento del comité ACI-ASCE 423.

Las pérdidas por acortamiento elástico no existen por haber realizado el tensado de los cables de manera simultánea, así mismo las pérdidas por asentamiento del anclaje tampoco se presentaron por haber utilizado un sistema de anclaje con rosca de ajuste y las pérdidas por contracción por secado tampoco se involucran por haber transcurrido más de 18 meses desde la fabricación de las vigas hasta la aplicación de la fuerza de presfuerzo.

#### **Pérdidas de fricción:**

La fuerza de tensado aplicada a cada uno de los dos cables fue de 75.32 kN y los factores de fricción y curvatura promedio que se consideraron fueron  $K = 0.0014$  y  $\mu = 0.05$  respectivamente. Para el cálculo de las pérdidas por fricción y la elaboración de los diagramas de tensado (figura 3.2 para claros de 2.4-2.4-2.4 m y figura 3.3 para claros de 2.4-3.6-2.4 m) se consideró la siguiente expresión (ACI-318):

$$P_s = P_x e^{(K \cdot l_x + \mu \cdot \alpha)} \quad \dots (B.1)$$

El esfuerzo inicial promedio " $P_s$ " fue de 1364.14 MPa para las vigas de 7.5 m de longitud y de 1353.52 MPa para las vigas de 8.7 m de longitud conforme a los diagramas de tensado.

### Pérdida por fluencia (CR):

Para el caso de elementos con cables no adheridos se utiliza la siguiente expresión:

$$CR = K_{cr} \frac{E_{ps}}{E_c} f_{cpa} \quad \dots (B.2)$$

$K_{cr} = 1.6$  para elementos post-tensados.

$f_{cpa}$  = esfuerzo de compresión promedio en el concreto debido a la fuerza de presfuerzo a lo largo de la longitud del elemento a nivel del acero.

$E_{ps}$  = Módulo de elasticidad del acero de presfuerzo = 192290 MPa.

$E_c$  = Módulo de elasticidad del concreto (ACI-318)

$$= 4700\sqrt{f'_c} = 27703 \text{ MPa.}$$

Para la sección transversal de 300 x 150 mm:

$$f_{cpa} = \frac{F}{A} = \frac{2 * 75320}{300 * 150} = 3.35 \text{ MPa}$$

$$CR = 1.6 \frac{192290}{27703} 3.35 = 37.2 \text{ MPa}$$

Para la sección transversal en forma de “U” invertida de 500 x 150 mm:

$$f_{cpa} = \frac{F}{A} = \frac{2 * 75320}{55000} = 2.74 \text{ MPa}$$

$$CR = 1.6 \frac{192290}{27703} 2.74 = 30.4 \text{ MPa}$$

### **Pérdida por Relajación (RE):**

La siguiente expresión refleja la pérdida por relajación que depende del tipo de cable, el esfuerzo inicial de tensado y las pérdidas de presfuerzo debida a las deformaciones del concreto. Los factores  $K_{re}$  y  $J$  utilizados corresponden a cables de baja relajación grado 270 K y el factor  $C$  considera el esfuerzo inicial de la fuerza de tensado equivalente a  $0.74 f_{pu}$ :

$$RE = [K_{re} - J(SH + CR + ES)]C \quad \dots (B.3)$$

$$K_{re} = 35 \text{ MPa} \quad J = 0.04 \quad C = 0.95$$

Para sección de 300 x 150 mm:

$$RE = [35 - 0.04(37.2)]0.95 = 31.8 \text{ MPa}$$

Para sección de 500 x 150 mm:

$$RE = [35 - 0.04(30.4)]0.95 = 32.1 \text{ MPa}$$

### **Pérdidas totales y esfuerzo efectivo promedio $f_{se}$ :**

Para sección de 300 x 150 mm:

$$\text{Pérdida total} = 37.2 + 31.8 = 69.0 \text{ MPa}$$

$$f_{se} = 1364.14 - 69.0 = 1295.2 \text{ MPa}$$

Para sección de 500 x 150 mm:

$$\text{Pérdida total} = 30.4 + 32.1 = 62.5 \text{ MPa}$$

$$f_{se} = 1353.52 - 62.5 = 1291.0 \text{ MPa}$$



## **APÉNDICE C**

### **ESFUERZOS PARA LA ETAPA INICIAL DE CARGA**

**(ESFUERZOS PARA LA ETAPA DE TRANSFERENCIA DEL PRESFUERZO  
CONSIDERANDO PÉRDIDAS TOTALES)**

C.1. Datos de entrada del modelo de STAADPro con claros de 2.4-2.4-2.4 m incluyendo la fuerza de presfuerzo y su carga equivalente (ver figura C.1):

STAAD.Pro	35. 3 CON GY -1000 0.9
Version 2007Build 04	36. 3 CON GY -1000 1.5
Proprietary Program of	37. LOAD 3 CARGA BALANCEADA
Research Engineers, Intl.	38. MEMBER LOAD
Date=MAR 21, 2016	39. 1 UNI GY 3173.44 0.75 0.9
Time= 9:21:54	40. 1 UNI GY 4533.07 1.5 1.95
	41. 1 UNI GY -4533.07 1.95 2.4
1. STAAD SPACE	42. 2 UNI GY -4431.41 0 0.45
2. START JOB INFORMATION	43. 2 UNI GY 4431.41 0.45 0.9
3. ENGINEER DATE 22-OCT-09	44. 2 UNI GY 4431.41 1.5 1.95
4. END JOB INFORMATION	45. 2 UNI GY -4431.41 1.95 2.4
5. INPUT WIDTH 79	46. 3 UNI GY -4331.91 0 0.45
6. UNIT METER KG	47. 3 UNI GY 4331.91 0.45 0.9
7. JOINT COORDINATES	48. 3 UNI GY 3067.25 1.5 1.65
8. 1 0 0 0; 2 2.4 0 0; 3 4.8 0 0; 4 7.2 0 0; 5 7.35 0 0; 6 -	49. JOINT LOAD
0.15 0 0	50. 1 FY -476.324
9. MEMBER INCIDENCES	51. 4 FY -455.187
10. 1 1 2; 2 2 3; 3 3 4; 4 4 5; 5 6 1	52. LOAD 4 PRESFUERZO AXIAL
11. DEFINE MATERIAL START	53. MEMBER PRESTRESS LOAD
12. ISOTROPIC CONCRETE	54. 1 2 FORCE 13232
13. E 3.04E+009	55. 3 FORCE 12936
14. POISSON 0.17	56. 4 5 FORCE 12645
15. DENSITY 2402.62	57. LOAD 5 CARGA BALANCEADA PARABOLA
16. ALPHA 1E-005	58. MEMBER LOAD
17. DAMP 0.05	59. 1 3 UNI GY 1087.5
18. END DEFINE MATERIAL	60. 2 UNI GY 1450
19. MEMBER PROPERTY AMERICAN	61. LOAD COMB 6 ETAPA DE TRANSFERENCIA
20. 1 TO 5 PRIS YD 0.15 ZD 0.3	62. 1 1.0 3 1.2 4 1.2
21. *1 TO 5 PRIS YD 0.15 ZD 0.5 YB 0.1 ZB 0.3	63. LOAD COMB 7 CARGAS DE SERVICIO
22. CONSTANTS	64. 1 1.0 2 1.0 3 1.0 4 1.0
23. MATERIAL CONCRETE ALL	65. LOAD COMB 8 CARGAS FACTORIZADAS
24. SUPPORTS	66. 1 1.2 2 1.6
25. 1 PINNED	67. LOAD COMB 9 PRESFUERZO
26. 2 TO 4 FIXED BUT FX FZ MX MY MZ	68. 3 1.0 4 1.0
27. LOAD 1 PESO PROPIO	69. LOAD COMB 10 PRESFUERZO
28. SELFWEIGHT Y -1	70. 4 1.0 5 1.0
29. LOAD 2 CARGAS CONCENTRADAS	71. LOAD COMB 11 PRESFUERZO
30. MEMBER LOAD	72. 3 1.05 4 1.05
31. 1 CON GY -1000 0.9	73. LOAD COMB 12 PRESFUERZO + PESO PROPIO
32. 1 CON GY -1000 1.5	74. 1 1.0 3 1.0 4 1.0
33. 2 CON GY -1000 0.9	75. PERFORM ANALYSIS
34. 2 CON GY -1000 1.5	

C.2. Datos de entrada del modelo de STAADPro con claros de 2.4-3.6-2.4 m incluyendo la fuerza de presfuerzo y su carga equivalente (ver figura C.2):

STAAD.Pro	36. 3 CON GY -1000 1.5
Version 2007Build 04	37. LOAD 3 CARGA BALANCEADA
Proprietary Program of	38. MEMBER LOAD
Research Engineers, Intl.	39. 1 UNI GY 3171.35 0.75 0.9
Date=MAR 21, 2016	40. 1 UNI GY 4530.08 1.5 1.95
Time= 9:19:46	41. 1 UNI GY -4530.08 1.95 2.4
	42. 2 UNI GY -4454.71 0 0.334
1. STAAD SPACE	43. 2 UNI GY 1718.1 0.334 1.2
2. START JOB INFORMATION	44. 2 UNI GY 1718.1 2.4 3.266
3. ENGINEER DATE 22-OCT-14	45. 2 UNI GY -4454.71 3.266 3.6
4. END JOB INFORMATION	46. 3 UNI GY -4262.78 0 0.45
5. INPUT WIDTH 79	47. 3 UNI GY 4262.78 0.45 0.9
6. UNIT METER KG	48. 3 UNI GY 3035.57 1.5 1.65
7. JOINT COORDINATES	49. JOINT LOAD
8. 1 0 0 0; 2 2.4 0 0; 6 8.4 0 0; 7 6 0 0; 8 8.55 0 0; 9 -0.15 0 0	50. 1 FY -476.011
9. MEMBER INCIDENCES	51. 6 FY -447.924
10. 1 1 2; 2 2 7; 3 7 6; 4 8 6; 5 9 1	52. *****
11. DEFINE MATERIAL START	53. LOAD 4 PRESFUERZO AXIAL
12. ISOTROPIC CONCRETE	54. MEMBER POSTSTRESS LOAD
13. E 3.02E+009	55. 1 FORCE 13224
14. POISSON 0.17	56. 2 FORCE 12828
15. DENSITY 2402.62	57. 3 FORCE 12443
16. ALPHA 1E-005	58. LOAD 5 CARGA BALANCEADA PARABOLA
17. DAMP 0.05	59. MEMBER LOAD
18. END DEFINE MATERIAL	60. 1 3 TO 5 UNI GY 1087.5
19. MEMBER PROPERTY AMERICAN	61. 2 UNI GY 644.5
20. 1 TO 5 PRIS YD 0.15 ZD 0.3	62. LOAD COMB 6 ETAPA DE TRANSFERENCIA
21. *1 TO 5 PRIS YD 0.15 ZD 0.5 YB 0.1 ZB 0.3	63. 1 1.0 3 1.2 4 1.2
22. CONSTANTS	64. LOAD COMB 7 CARGAS DE SERVICIO
23. MATERIAL CONCRETE ALL	65. 1 1.0 2 1.0 3 1.0 4 1.0
24. SUPPORTS	66. LOAD COMB 8 CARGAS FACTORIZADAS
25. 1 PINNED	67. 1 1.2 2 1.6
26. 2 6 7 FIXED BUT FX FZ MX MY MZ	68. LOAD COMB 9 PRESFUERZO
27. LOAD 1 PESO PROPIO	69. 3 1.0 4 1.0
28. SELFWEIGHT Y -1	70. LOAD COMB 10 PRESFUERZO
29. LOAD 2 CARGAS CONCENTRADAS	71. 3 1.0 5 1.0
30. MEMBER LOAD	72. LOAD COMB 11 PRESFUERZO
31. 1 CON GY -1000 0.9	73. 2 1.0 4 1.0
32. 1 CON GY -1000 1.5	74. LOAD COMB 12 PRESFUERZO + PESO
33. 2 CON GY -1000 1.2	PROPIO
34. 2 CON GY -1000 2.4	75. 1 1.0 3 1.0 4 1.0
35. 3 CON GY -1000 0.9	76. PERFORM ANALYSIS

### C.3. Esfuerzos en las vigas para la etapa inicial de carga.

Los esfuerzos que aparecen en las siguientes tablas corresponden a los resultados obtenidos con el programa de análisis STAADPro en el que se consideró la carga equivalente del presfuerzo de acuerdo a la trayectoria de los cables y a los diagramas de tensado mostrados en las figuras 3.2 y 3.3 y a la carga de peso propio conforme a la sección transversal de cada viga típica.

Tabla C.1

Esfuerzos en vigas debidos al presfuerzo efectivo después de pérdidas y al peso propio (MPa). Vigas V-1, V-2 y V-3 (claros 2.4-2.4-2.4 m, sección transversal de 0.15 x 0.30 m).

LOCALIZACIÓN	CLARO 1	AP. 2	CLARO 2	AP. 3	CLARO 3
<b>ESFUERZOS DEBIDOS AL PRESFUERZO (<math>f_{se} + w_{eq}</math>)</b>					
Fibra superior	-0.254	8.042	0.144	7.891	-0.155
Fibra inferior	6.022	-2.275	5.623	-2.124	5.793
<b>ESFUERZOS DEL PRESFUERZO + PESO PROPIO (<math>f_{se} + w_{eq} + w_{pp}</math>)</b>					
Esfuerzos a nivel del acero convencional (a 4.5 cm del cgc)	4.522	5.655	4.444	5.564	4.362
Esfuerzo en el concreto en la fibra superior o inferior de compresión.	0.153	-1.735	0.283	-1.584	0.248

Tabla C.2

Esfuerzos en vigas debidos al presfuerzo efectivo después de pérdidas y al peso propio (MPa). Vigas V-4, V-5 y V-6 (claros 2.4-2.4-2.4 m, sección transversal en forma de "U" invertida de 0.15 x 0.50 m).

LOCALIZACIÓN	CLARO 1	AP. 2	CLARO 2	AP. 3	CLARO 3
<b>ESFUERZOS DEBIDOS AL PRESFUERZO (<math>f_{se} + w_{eq}</math>)</b>					
Fibra superior	0.186	5.940	0.459	5.832	0.244
Fibra inferior	5.132	-2.205	4.784	-2.071	4.938
<b>ESFUERZOS DEL PRESFUERZO + PESO PROPIO (<math>f_{se} + w_{eq} + w_{pp}</math>)</b>					
Esfuerzos a nivel del acero convencional (a 4.5 cm del cgc)	3.610	4.489	3.576	4.418	3.481
Esfuerzo en el concreto en la fibra superior o inferior de compresión.	-0.528	-0.517	0.577	-1.487	0.586

Tabla C.3

Esfuerzos en vigas debidos al presfuerzo efectivo después de pérdidas y al peso propio (MPa). Vigas V-7, V-8 y V-9 (claros 2.4-3.6-2.4 m, sección transversal de 0.15 x 0.30 m).

LOCALIZACIÓN	CLARO 1	AP. 2	CLARO 2	AP. 3	CLARO 3
<b>ESFUERZOS DEBIDOS AL PRESFUERZO (<math>f_{se} + w_{eq}</math>)</b>					
Fibra superior	-0.035	8.465	0.512	8.208	0.018
Fibra inferior	5.799	-2.702	5.079	-2.617	5.405
<b>ESFUERZOS DEL PRESFUERZO + PESO PROPIO (<math>f_{se} + w_{eq} + w_{pp}</math>)</b>					
Esfuerzos a nivel del acero convencional (a 4.5 cm del cgc)	4.501	5.685	3.796	5.496	4.197
Esfuerzo en el concreto en la fibra superior o inferior de compresión.	0.183	-1.790	1.127	-1.706	0.236

Tabla C.4

Esfuerzos en vigas debidos al presfuerzo efectivo después de pérdidas y al peso propio (MPa). Vigas V-10, V-11 y V-12 (claros 2.4-3.6-2.4 m, sección transversal en forma de "U" invertida de 0.15 x 0.50 m).

LOCALIZACIÓN	CLARO 1	AP. 2	CLARO 2	AP. 3	CLARO 3
<b>ESFUERZOS DEBIDOS AL PRESFUERZO (<math>f_{se} + w_{eq}</math>)</b>					
Fibra superior	0.335	6.230	0.703	6.041	0.351
Fibra inferior	4.939	-2.582	4.309	-2.502	4.602
<b>ESFUERZOS DEL PRESFUERZO + PESO PROPIO (<math>f_{se} + w_{eq} + w_{pp}</math>)</b>					
Esfuerzos a nivel del acero convencional (a 4.5 cm del cgc)	3.613	4.474	3.013	4.323	3.368
Esfuerzo en el concreto en la fibra superior o inferior de compresión.	0.519	-1.597	1.225	-1.517	0.535

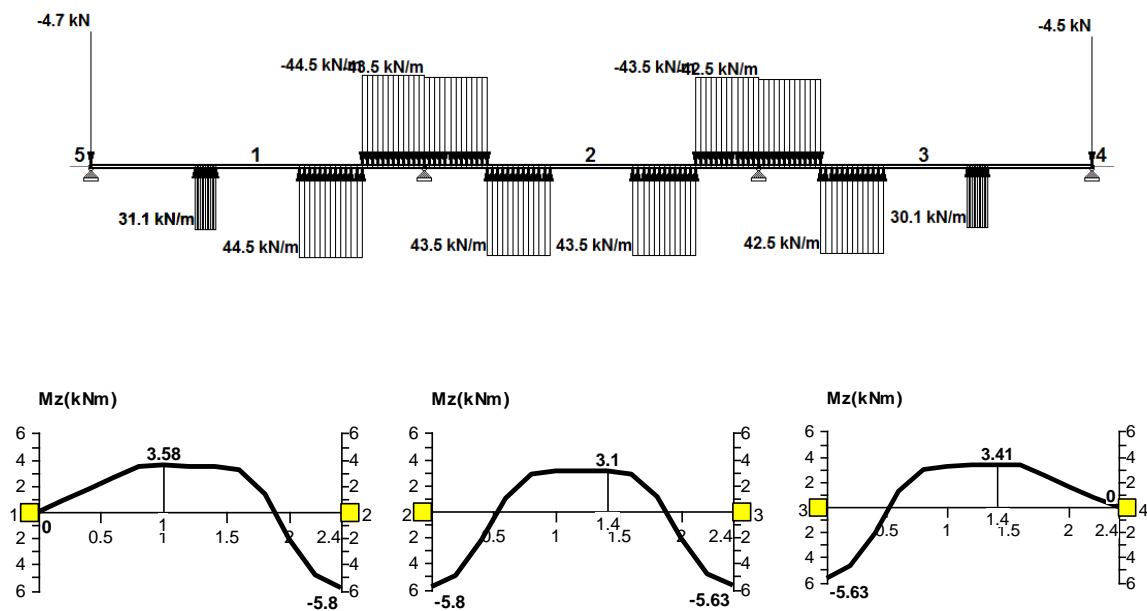


Figura C.1. Carga equivalente de los cables de presfuerzo y diagrama de momentos de viga típica de claros 2.4 - 2.4 - 2.4 m.

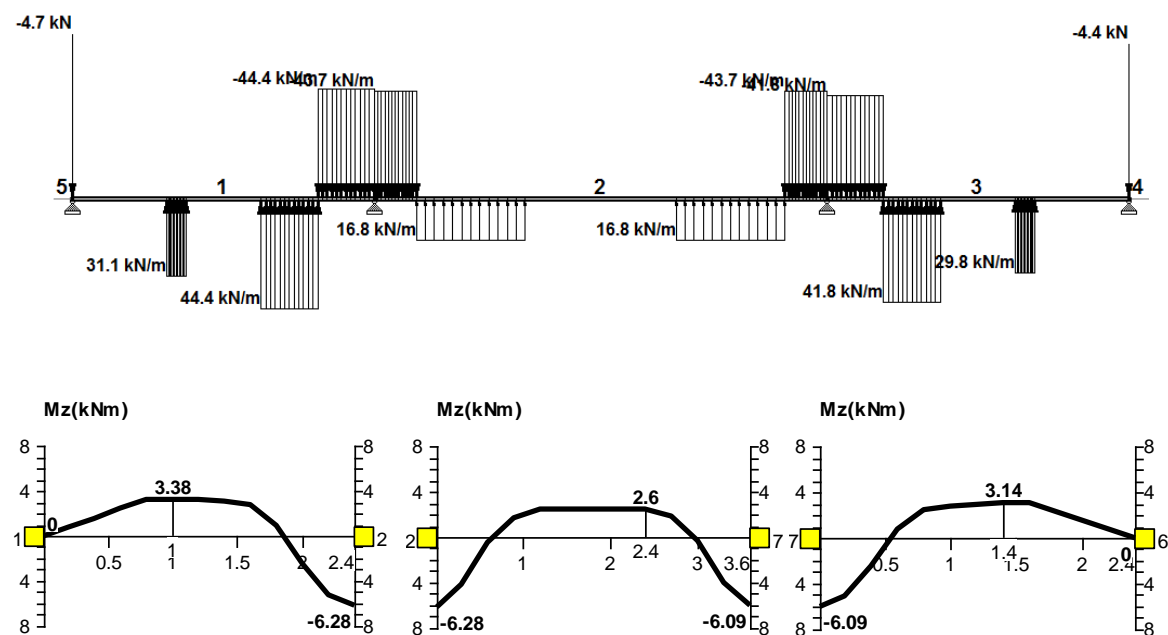


Figura C.2. Carga equivalente de los cables de presfuerzo y diagrama de momentos de viga típica de claros 2.4 - 3.6 - 2.4 m.

## **APÉNDICE D**

### **TABLAS DE DATOS ADQUIRIDOS DURANTE LOS ENSAYES DE LAS VIGAS**

Los datos se registraron durante los ensayos para cada una de las vigas y para cada incremento de carga de 10.08 kN (100 unidades por cada uno de los dos gatos) con un equipo de adquisición “Daq Mx” y con la programación con el software Lab-View, se muestran en las tablas siguientes en donde la información se refiere a las deformaciones obtenidas con medidores de deformación unitaria localizados en los cables de presfuerzo (Acero), en el acero convencional (Varilla) y en el concreto y, se registraron los datos correspondientes de las reacciones de los cuatro apoyos de las vigas (C. Carga), de las deflexiones al centro de cada uno de los tres claros (LVDT 1, 2 y 3) y de los alargamientos y/o acortamientos en los extremos de cada viga ensayada (LVDT 4 y 5).



Tabla D.1. Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-1A.

Fecha: 26-02.2015  
10:53:48  
Hora: a.m.

V-1A

P (UNID.)	Acero 1	Acero 2	Acero 3	Varilla 1	Varilla 2	Varilla 3	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	C. Carga 1	C. Carga 2	C. Carga 3	C. Carga 4	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	LVDT 4	LVDT 5
0	0.014452	0.015627	0.001096	-0.0559	0.01681	-0.05586	0.008627	-0.0013	-0.00021	-0.00046	-0.00265	0.000264	0.001063	-4.19258	-6.04369	-8.06622	-4.27457	-14.7123
100	0.014476	0.014753	0.001125	-0.0559	0.016872	-0.05586	0.00864	-0.00132	-0.00022	-0.00047	-0.00265	0.000271	0.001063	-4.44173	-5.76933	-7.90359	-3.7725	-14.1701
200	0.014498	0.016174	0.001151	-0.0559	0.016913	-0.05586	0.008645	-0.00135	-0.00024	-0.00047	-0.00266	0.000278	0.001064	-4.63121	-5.59977	-7.6881	-3.32667	-13.654
300	0.014521	0.016182	0.001169	-0.0559	0.016958	-0.05586	0.008659	-0.00138	-0.00026	-0.00047	-0.00266	0.000284	0.001065	-4.77728	-5.46734	-7.50514	-2.96318	-13.1919
400	0.014536	0.014609	0.001183	-0.0559	0.016992	-0.05586	0.008703	-0.0014	-0.00027	-0.00047	-0.00266	0.000289	0.001066	-4.8766	-5.37038	-7.27135	-2.73223	-12.8318
500	0.014562	0.013431	0.001211	-0.0559	0.017037	-0.05586	0.008694	-0.00142	-0.00028	-0.00047	-0.00267	0.000296	0.001067	-4.98386	-5.24909	-7.04976	-2.40087	-12.3556
600	0.014585	-0.05462	0.001229	-0.0559	0.017082	-0.05586	0.008701	-0.00144	-0.00028	-0.00047	-0.00267	0.000302	0.001069	-5.07609	-5.15379	-6.8851	-2.22012	-11.9015
700	0.014602	-0.05462	0.001247	-0.0559	0.01714	-0.05586	0.00832	-0.00147	-0.0003	-0.00047	-0.00267	0.000309	0.001071	-5.16332	-5.0688	-6.6879	-1.94901	-11.4834
800	0.014638	-0.05462	0.001263	-0.0559	0.01732	-0.05586	0.008306	-0.00148	-0.00032	-0.00047	-0.00268	0.000315	0.001072	-5.24887	-4.99247	-6.49478	-1.72007	-11.0733
900	0.014686	0.012568	0.001304	-0.0559	0.017187	-0.05586	0.00841	-0.00151	-0.00035	-0.00047	-0.00268	0.00032	0.001073	-5.32066	-4.95204	-6.26709	-1.53531	-10.6672
1000	0.014706	0.019642	0.001327	-0.0559	0.017268	-0.05586	0.008401	-0.00153	-0.00036	-0.00047	-0.00269	0.000325	0.001075	-5.3891	-4.89717	-6.06176	-1.32444	-10.2871
1100	0.014729	0.017936	0.001336	-0.0559	0.017749	-0.05586	0.008407	-0.00154	-0.00037	-0.00047	-0.00269	0.000332	0.001077	-5.46255	-4.85344	-5.84424	-1.11559	-9.86899
1200	0.014748	0.019231	0.00135	-0.0559	0.017786	-0.05586	0.008398	-0.00156	-0.00039	-0.00047	-0.00269	0.000338	0.001079	-5.50262	-4.82002	-5.66534	-0.96497	-9.56491
1300	0.014753	0.018503	0.001375	-0.0559	0.017431	-0.05586	0.008394	-0.00158	-0.0004	-0.00048	-0.0027	0.000342	0.00108	-5.55103	-4.79279	-5.41733	-0.70791	-9.1548
1400	0.014777	0.016572	0.001396	-0.0559	0.017583	-0.05586	0.008389	-0.00159	-0.00042	-0.00048	-0.0027	0.000348	0.001082	-5.61113	-4.7734	-5.15102	-0.49905	-8.81472
1500	0.014762	0.021676	0.001442	-0.0559	0.018277	-0.05586	0.008726	-0.00161	-0.00044	-0.00048	-0.0027	0.000353	0.001084	-5.65578	-4.76185	-4.9091	-0.32835	-8.40861
1600	0.014793	0.019677	0.001465	-0.0559	0.018499	-0.05586	0.009199	-0.00161	-0.00047	-0.00048	-0.00271	0.000356	0.001088	-5.73299	-4.75278	-4.68751	-0.08133	-7.77844
1700	0.014897	0.01498	0.001527	-0.0559	0.01901	-0.05586	0.0091	-0.00164	-0.00059	-0.00048	-0.00271	0.000361	0.001089	-5.80519	-4.81095	-4.24433	0.30425	-7.14428
1800	0.014967	0.003362	0.001567	-0.0559	0.019503	-0.05586	0.009019	-0.00167	-0.00062	-0.00049	-0.00271	0.000365	0.001091	-5.90076	-4.92605	-3.31326	0.736025	-6.51611
1900	0.015124	-0.05462	0.001716	-0.0559	0.020009	-0.05586	0.008977	-0.00169	-0.00075	-0.00049	-0.00272	0.000368	0.001093	-6.08272	-5.05972	-2.52042	1.446947	-5.40382
2000	0.015199	-0.05462	0.001785	-0.0559	0.020508	-0.05586	0.008938	-0.00171	-0.00083	-0.00049	-0.00272	0.000373	0.001096	-6.18789	-5.2132	-1.74181	2.055448	-4.68963
2100	0.015266	0.014866	0.001927	-0.0559	0.021876	-0.05586	0.008901	-0.00176	-0.00134	-0.00049	-0.00272	0.000378	0.001099	-6.37403	-5.4236	-0.71925	2.969203	-3.62935
2200	0.015378	0.01559	0.002016	-0.0559	0.022267	-0.05586	0.008809	-0.0018	-0.00109	-0.00049	-0.00272	0.000384	0.001102	-6.5635	-5.63731	0.539131	3.784554	-2.87916
2300	0.015513	0.015479	0.001952	-0.0559	0.029351	-0.05586	0.008957	-0.0018	-0.00125	-0.00049	-0.00273	0.000391	0.001104	-6.77217	-5.86546	1.850365	4.81278	-2.01893
2400	0.015674	0.015651	0.002094	-0.0559	0.031915	-0.05586	0.008889	-0.00184	-0.00129	-0.00049	-0.00273	0.000397	0.001106	-7.10605	-6.20335	3.43401	6.19245	-0.69258
2500	0.01585	0.015587	0.00221	-0.0559	0.033266	-0.05586	0.008728	-0.00187	-0.00146	-0.0005	-0.00273	0.000403	0.001109	-7.43867	-6.50328	5.001392	7.523922	0.517736
2600	0.016018	0.015764	0.002331	-0.0559	0.03503	-0.05586	0.008656	-0.00191	-0.00174	-0.0005	-0.00274	0.000409	0.001111	-7.88648	-6.8684	6.887943	9.184748	1.892097
2700	0.01634	0.016627	0.002527	-0.0559	-0.05594	-0.05586	0.008488	-0.00192	-0.00175	-0.0005	-0.00274	0.000415	0.001114	-8.49788	-7.44558	10.3805	11.81958	3.532528

Tabla D.2. Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-1B.

Fecha: 02-03.2015  
10:52:58  
Hora: a.m.

V-1B

P (UNID.)	Acero 1	Acero 2	Acero 3	Varilla 1	Varilla 2	Varilla 3	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	C. Carga 1	C. Carga 2	C. Carga 3	C. Carga 4	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	LVDT 4	LVDT 5
0	-0.054553	0.014813	0.000956	0.008298	0.013086	-0.05586	0.009322	0.001144	-0.00045	-0.00061	-0.00265	0.000245	0.001048	-5.61488	-5.96406	-13.0327	-8.55748	-15.8206
100	-0.054553	0.014817	0.000967	0.008359	0.013103	-0.05586	0.009306	0.00113	-0.00047	-0.00061	-0.00265	0.000253	0.001049	-6.24048	-5.17772	-12.6719	-7.90648	-15.2604
200	-0.054553	0.014846	0.000997	0.00849	0.013147	-0.05586	0.009306	0.001098	-0.00049	-0.00061	-0.00266	0.000259	0.00105	-6.37277	-5.13398	-12.311	-7.25548	-14.6603
300	-0.054553	0.01485	0.001011	0.008468	0.013172	-0.05586	0.009306	0.001082	-0.00051	-0.00061	-0.00266	0.000265	0.001051	-6.0677	-5.29653	-12.0366	-6.95592	-14.3242
400	-0.054553	0.014861	0.001027	0.008499	0.013205	-0.05586	0.009297	0.00107	-0.00052	-0.00061	-0.00266	0.00027	0.001052	-6.06895	-5.17318	-11.7621	-6.65636	-13.9741
500	-0.054553	0.014868	0.001039	0.008519	0.013231	-0.05586	0.009283	0.001047	-0.00054	-0.00061	-0.00267	0.000275	0.001053	-6.2121	-5.08324	-11.5263	-6.39528	-13.656
600	-0.054553	0.014883	0.00105	0.008538	0.013261	-0.05586	0.009277	0.001059	-0.00056	-0.00062	-0.00267	0.000282	0.001055	-6.61233	-4.98546	-11.3209	-6.15229	-13.3559
700	-0.054553	0.014896	0.001064	0.008626	0.013298	-0.05586	0.009256	0.001039	-0.00057	-0.00062	-0.00268	0.000288	0.001056	-6.61275	-4.90171	-11.1644	-5.91531	-13.0558
800	-0.054553	0.014906	0.00108	0.008643	0.013326	-0.05586	0.009241	0.001013	-0.00059	-0.00062	-0.00268	0.000294	0.001057	-6.87985	-4.78495	-10.9753	-5.68235	-12.7137
900	-0.054553	0.014914	0.001078	0.008647	0.013345	-0.05586	0.009237	0.001	-0.0006	-0.00062	-0.00268	0.0003	0.001058	-6.88318	-4.68883	-10.7883	-5.54981	-12.4957
1000	-0.054553	0.014923	0.001085	0.008678	0.013371	-0.05586	0.009216	0.000968	-0.00062	-0.00062	-0.00269	0.000306	0.001059	-7.06932	-4.60301	-10.5931	-5.36304	-12.2356
1100	-0.054553	0.014917	0.001085	0.008682	0.013397	-0.05586	0.009198	0.000942	-0.00064	-0.00062	-0.00269	0.000313	0.00106	-7.07057	-4.54608	-10.4285	-5.20037	-11.9495
1200	-0.054553	0.014941	0.001101	0.008704	0.013432	-0.05586	0.009189	0.000926	-0.00064	-0.00062	-0.0027	0.000319	0.001062	-7.21414	-4.5304	-10.0544	-5.15017	-11.5594
1300	-0.054553	0.014965	0.001101	0.008689	0.013449	-0.05586	0.009184	0.00092	-0.00065	-0.00062	-0.0027	0.000325	0.001063	-7.21497	-4.52483	-9.87451	-5.06984	-11.3624
1400	-0.054553	0.014989	0.0011	0.008674	0.013466	-0.05586	0.009178	0.000913	-0.00066	-0.00062	-0.00271	0.000332	0.001063	-7.21581	-4.51926	-9.69459	-4.98951	-11.1653
1500	-0.054553	0.015054	0.001148	0.009029	0.014249	-0.05586	0.009134	0.000883	-0.0007	-0.00062	-0.00271	0.000335	0.001068	-7.40987	-4.58569	-8.58869	-4.40109	-9.79497
1600	-0.054553	0.015203	0.001172	0.009284	0.014674	-0.05586	0.009073	0.000921	-0.00073	-0.00063	-0.00271	0.000339	0.001072	-7.49793	-4.68883	-7.64948	-4.09583	-9.11279
1700	-0.054553	0.015124	0.001229	0.00955	0.01499	-0.05586	0.009039	0.000885	-0.00081	-0.00063	-0.00271	0.000345	0.001074	-7.60268	-4.79362	-6.8668	-3.65803	-8.31658
1800	-0.054553	0.015175	0.001325	0.009809	0.015235	-0.05586	0.008995	0.00086	-0.00084	-0.00063	-0.00272	0.000351	0.001075	-7.76211	-4.95617	-6.18781	-3.06158	-7.36033
1900	-0.054553	0.015252	0.001407	0.009835	0.01568	-0.05586	0.008932	0.000842	-0.00089	-0.00063	-0.00272	0.000356	0.001078	-7.98497	-5.17111	-5.08393	-2.49124	-6.25804
2000	-0.054553	0.015347	0.001524	0.010148	0.016096	-0.05586	0.00884	0.000816	-0.00096	-0.00063	-0.00273	0.000361	0.001079	-8.0843	-5.42319	-4.03291	-1.65179	-5.18976
2100	-0.054553	0.015453	0.00168	0.010364	0.016557	-0.05586	0.008766	0.000827	-0.00103	-0.00063	-0.00273	0.000367	0.00108	-8.25457	-5.70043	-2.81112	-0.62356	-3.8214
2200	-0.054553	0.015623	0.001885	0.010728	0.01959	-0.05586	0.008659	0.000807	-0.00114	-0.00064	-0.00273	0.000372	0.001083	-8.58302	-6.10928	-1.24984	0.840454	-2.15697
2300	-0.054553	0.016028	0.002062	0.011058	0.023366	-0.05586	0.008582	0.000784	-0.00122	-0.00064	-0.00274	0.000377	0.001085	-8.7775	-6.41623	0.11425	1.959051	-0.94665
2400	-0.054553	0.016028	0.002231	0.011358	0.024717	-0.05586	0.00847	0.000761	-0.00131	-0.00064	-0.00274	0.000383	0.001086	-9.11972	-6.8585	2.210192	3.481308	0.299679
2500	-0.054553	0.016101	0.002457	0.011687	-0.05594	-0.05586	0.008374	0.000759	-0.00143	-0.00064	-0.00274	0.000388	0.001088	-9.47571	-7.30242	4.194323	5.101968	2.024132
2600	-0.054553	0.016781	0.003043	0.013879	0.063273	-0.05586	0.008387	0.000857	-0.00145	-0.00064	-0.00275	0.000393	0.00109	-9.40226	-8.87511	9.585629	8.732891	5.919154

Tabla D.3. Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-2A.

Fecha: 25-02-2015

V-2A

10:23:21

Hora: a.m.

P (UNID.)	Acero 1	Acero 2	Acero 3	Varilla 1	Varilla 2	Varilla 3	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	C. Carga 1	C. Carga 2	C. Carga 3	C. Carga 4	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	LVDT 4	LVDT 5
0	0.01003	0.013591	-0.00077	0.00722	-0.05594	-0.05586	0.007558	0.001324	0.000933	-0.00044	-0.00263	0.000263	0.001053	-4.0127	-5.84318	-8.63138	-17.6716	-23.8247
100	0.010034	0.013616	-0.00075	0.007244	-0.05594	-0.05586	0.007561	0.001295	0.000915	-0.00044	-0.00263	0.000268	0.001054	-3.99225	-5.80357	-8.52566	-17.2238	-23.3265
200	0.010056	0.013635	-0.00072	0.007261	-0.05594	-0.05586	0.007569	0.001268	0.000899	-0.00044	-0.00263	0.000276	0.001055	-4.63663	-5.1509	-8.19633	-16.8663	-22.7784
300	0.006532	0.013673	-0.00069	0.00729	-0.05594	-0.05586	0.007709	0.001247	0.00089	-0.00044	-0.00264	0.000282	0.001056	-4.76392	-5.02589	-8.02963	-16.5008	-22.2482
400	0.006684	0.013711	-0.00065	0.007342	-0.05594	-0.05586	0.007725	0.00137	0.000878	-0.00044	-0.00264	0.00029	0.001059	-4.86993	-4.90542	-7.79585	-16.1554	-21.7241
500	0.006413	0.013759	-0.00063	0.007384	-0.05594	-0.05586	0.007742	0.001419	0.000858	-0.00045	-0.00264	0.000295	0.00106	-4.95632	-4.79156	-7.53157	-15.8783	-21.318
600	0.006417	0.013753	-0.00059	0.007417	-0.05594	-0.05586	0.007738	0.001416	0.000846	-0.00045	-0.00264	0.000301	0.001062	-5.03645	-4.70657	-7.31404	-15.6031	-20.8339
700	0.007446	0.013804	-0.00055	0.007471	-0.05594	-0.05586	0.00776	0.001483	0.000825	-0.00045	-0.00265	0.000306	0.001064	-5.13661	-4.62653	-7.07009	-15.3581	-20.3477
800	0.006024	0.013841	-0.00054	0.007498	-0.05594	-0.05586	0.007727	0.00143	0.000811	-0.00045	-0.00265	0.000313	0.001066	-5.20797	-4.57661	-6.8668	-15.1312	-19.9476
900	0.00596	0.013864	-0.0005	0.007539	-0.05594	-0.05586	0.007718	0.001396	0.0008	-0.00045	-0.00266	0.000319	0.001068	-5.3098	-4.51844	-6.60659	-14.8681	-19.4455
1000	0.00597	0.013886	-0.00047	0.007555	-0.05594	-0.05586	0.007715	0.001386	0.000791	-0.00045	-0.00266	0.000322	0.001069	-5.39995	-4.46728	-6.43785	-14.6733	-18.9434
1100	0.006261	0.01391	-0.00041	0.007596	-0.05594	-0.05586	0.007707	0.001387	0.000768	-0.00045	-0.00266	0.000328	0.001071	-5.49177	-4.42149	-6.2305	-14.4403	-18.4032
1200	0.006221	0.013934	-0.0004	0.007623	-0.05594	-0.05586	0.007687	0.00138	0.000759	-0.00046	-0.00267	0.000333	0.001073	-5.57231	-4.38972	-5.95199	-14.1953	-18.1132
1300	0.007128	0.01401	-0.00032	0.007714	-0.05594	-0.05586	0.007691	0.001416	0.00074	-0.00046	-0.00267	0.000338	0.001074	-5.6274	-4.40375	-5.75683	-13.9142	-17.629
1400	0.007164	0.014023	-0.00027	0.007758	-0.05594	-0.05586	0.007677	0.001395	0.000731	-0.00046	-0.00267	0.000341	0.001077	-5.70419	-4.39797	-5.51694	-13.6009	-17.0689
1500	0.007176	0.014034	-0.00023	0.007798	-0.05594	-0.05586	0.007653	0.001379	0.000718	-0.00046	-0.00268	0.000346	0.001077	-5.75219	-4.41942	-5.25469	-13.3017	-16.5487
1600	0.00719	0.014061	-0.00017	0.007843	-0.05594	-0.05586	0.007623	0.001286	0.000662	-0.00046	-0.00268	0.000351	0.001078	-5.8824	-4.41324	-4.95179	-12.7775	-15.8086
1700	0.007252	0.008871	-9.3E-05	0.007922	-0.05594	-0.05586	0.007488	0.001194	0.00066	-0.00047	-0.00269	0.000357	0.00108	-5.96294	-4.43428	-4.70987	-12.4281	-15.1224
1800	0.007261	0.008983	-3.5E-05	0.007981	-0.05594	-0.05586	0.007579	0.001164	0.000631	-0.00047	-0.00269	0.000363	0.001082	-6.06937	-4.4809	-4.35208	-11.9099	-14.4442
1900	0.007262	0.009171	0.000022	0.008029	-0.05594	-0.05586	0.00766	0.001148	0.000617	-0.00047	-0.00269	0.000369	0.001083	-6.15492	-4.54608	-4.0634	-11.4661	-13.72
2000	0.007271	0.009295	0.000075	0.008195	-0.05594	-0.05586	0.007576	0.001237	0.000585	-0.00047	-0.0027	0.000375	0.001085	-6.24882	-4.62364	-3.50232	-11.0183	-13.1959
2100	0.00689	0.011729	0.000212	0.008385	-0.05594	-0.05586	0.007516	0.001055	0.00058	-0.00047	-0.0027	0.00038	0.001087	-6.38947	-4.69997	-2.78876	-10.452	-12.3696
2200	0.006921	0.011763	0.000256	0.008505	-0.05594	-0.05586	0.007482	0.001118	0.000553	-0.00047	-0.00271	0.000385	0.001088	-6.48337	-4.74824	-2.25207	-10.0925	-11.9135
2300	0.009859	0.011805	0.000309	0.008682	-0.05594	-0.05586	0.007027	0.001022	0.000525	-0.00047	-0.00271	0.00039	0.00109	-6.65198	-4.8258	-1.41247	-9.61853	-11.3914
2400	0.009823	0.014109	0.000359	0.008829	-0.05594	-0.05586	0.00694	0.000974	0.00047	-0.00047	-0.00271	0.000395	0.001092	-6.75882	-4.92399	-0.67859	-9.10843	-10.7732
2500	0.009149	0.014638	0.000451	0.00904	-0.05594	-0.05586	0.006951	0.000729	0.000426	-0.00048	-0.00272	0.0004	0.001094	-6.90864	-5.02342	0.315509	-8.58428	-10.1631
2600	0.009153	0.014726	0.000491	0.009228	-0.05594	-0.05586	0.006872	0.000592	0.000383	-0.00048	-0.00272	0.000404	0.001097	-7.0785	-5.14842	1.354332	-7.95971	-9.66094
2700	0.009196	0.014958	0.000628	0.009837	-0.05594	-0.05586	0.006656	0.000323	0.000254	-0.00048	-0.00272	0.000409	0.001098	-7.66612	-5.58698	4.310199	-5.87715	-8.34659
2800	0.009245	0.015144	0.00072	0.010116	-0.05594	-0.05586	0.006549	0.000321	0.000197	-0.00048	-0.00273	0.000415	0.001101	-8.01669	-5.81265	6.32889	-4.43924	-7.6284
2900	0.007724	0.015356	0.000924	0.0104	-0.05594	-0.05586	0.00671	0.000426	0.000179	-0.00048	-0.00273	0.00042	0.001103	-8.32468	-6.08783	8.16665	-2.92904	-6.66215
3000	0.007786	0.015559	0.001052	0.010724	-0.05594	-0.05586	0.006597	0.000424	0.000116	-0.00048	-0.00273	0.000425	0.001105	-8.62392	-6.39932	10.15688	-1.36863	-5.87794
3100	0.00814	0.016226	0.001256	0.010844	-0.05594	-0.05586	0.005841	0.000429	0.000006	-0.00048	-0.00274	0.00043	0.001108	-9.08174	-6.86098	13.05989	1.021197	-4.62161
3200	0.008189	0.016596	0.001496	0.011028	-0.05594	-0.05586	0.005665	0.000399	-0.00017	-0.00049	-0.00274	0.000434	0.00111	-9.598	-7.37916	16.61547	3.854843	-3.26126

Tabla D.4 Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-2B.

Fecha: 10-03-2015

V-2B

09:57:48

a.m.

P (UNID.)	Acero 1	Acero 2	Acero 3	Varilla 1	Varilla 2	Varilla 3	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	C. Carga 1	C. Carga 2	C. Carga 3	C. Carga 4	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	LVDT 4	LVDT 5
0	0.014739	0.013236	0.002272	0.008674	0.013136	-0.05586	0.008454	-6.7E-05	0.000589	-0.00093	0.002191	0.000232	0.001053	-3.97681	-5.29818	-13.1831	-9.56029	-19.1714
100	0.014775	0.013276	0.002308	0.008717	0.013164	-0.05586	0.008459	-8.3E-05	0.000564	-0.00093	0.002194	0.000237	0.001053	-4.74347	-4.4974	-12.5915	-8.5642	-18.5193
200	0.014793	0.013298	0.002324	0.008741	0.013201	-0.05586	0.008457	-9.3E-05	0.000545	-0.00093	0.002196	0.000244	0.001054	-4.74597	-4.52298	-12.3557	-8.20472	-18.1672
300	0.014815	0.013323	0.002342	0.008761	0.013231	-0.05586	0.00845	-0.00012	0.000525	-0.00093	0.002199	0.000249	0.001056	-4.53104	-4.76969	-12.126	-7.76893	-17.677
400	0.01485	0.013363	0.002386	0.0088	0.013285	-0.05586	0.008456	-0.00013	0.000513	-0.00093	0.002202	0.000256	0.001057	-4.47637	-4.82662	-11.9166	-7.36929	-17.2649
500	0.014846	0.01338	0.002391	0.008822	0.013319	-0.05586	0.008441	-0.00015	0.000488	-0.00093	0.002204	0.000263	0.001058	-4.52562	-4.7569	-11.6584	-7.04194	-16.9108
600	0.014864	0.013392	0.002407	0.008833	0.013339	-0.05586	0.008436	-0.00017	0.000479	-0.00093	0.002205	0.000269	0.001062	-4.58655	-4.69007	-11.4795	-6.82103	-16.6448
700	0.014885	0.013412	0.002423	0.008866	0.013378	-0.05586	0.008425	-0.00019	0.000463	-0.00093	0.002208	0.000276	0.001064	-4.66543	-4.6191	-11.2965	-6.58808	-16.3527
800	0.014896	0.013429	0.002439	0.008889	0.01341	-0.05586	0.008401	-0.00021	0.00044	-0.00093	0.002211	0.000282	0.001065	-4.73387	-4.54443	-11.1115	-6.39127	-16.0646
900	0.014916	0.01346	0.002459	0.008929	0.013466	-0.05586	0.008401	-0.00025	0.000426	-0.00093	0.002214	0.000289	0.001066	-4.79564	-4.47264	-10.8676	-6.19848	-15.8106
1000	0.014932	0.013485	0.002489	0.008961	0.013511	-0.05586	0.008396	-0.00027	0.000412	-0.00093	0.002217	0.000295	0.001067	-4.86575	-4.40952	-10.6806	-5.99966	-15.5185
1100	0.014611	0.012857	0.002537	0.008977	0.013585	-0.05586	0.008373	-0.00029	0.000401	-0.00094	0.00222	0.0003	0.001069	-4.90498	-4.38518	-10.4712	-5.78277	-15.2464
1200	0.01462	0.01289	0.002541	0.00901	0.013626	-0.05586	0.008353	-0.00031	0.000397	-0.00094	0.002222	0.000305	0.001072	-4.94713	-4.36662	-10.2923	-5.60403	-14.9963
1300	0.014771	0.013001	0.002594	0.009064	0.013723	-0.05586	0.008253	-0.00034	0.000404	-0.00094	0.002224	0.000312	0.001075	-4.99179	-4.3398	-10.0158	-5.38312	-14.7023
1400	0.01481	0.013052	0.002621	0.00909	0.01401	-0.05586	0.008232	-0.00036	0.000376	-0.00094	0.002227	0.000317	0.001077	-5.05898	-4.34227	-9.64987	-5.14013	-14.3022
1500	0.014022	0.013137	0.002701	0.00916	0.014281	-0.05586	0.008107	-0.00038	0.000353	-0.00094	0.002228	0.000323	0.00108	-5.10489	-4.36208	-9.14164	-4.88307	-13.83
1600	0.014096	0.013187	0.002776	0.009256	0.014553	-0.05586	0.008075	-0.00039	0.000298	-0.00094	0.002231	0.000327	0.001082	-5.18502	-4.39261	-8.68017	-4.5979	-13.1939
1700	-0.000731	0.013159	0.002908	0.009299	0.014826	-0.05586	0.008324	-0.00042	0.000206	-0.00094	0.002234	0.000333	0.001084	-5.25638	-4.4483	-8.13331	-4.30469	-12.6017
1800	-0.000057	0.013187	0.002965	0.009411	0.014945	-0.05586	0.008264	-0.00053	0.000151	-0.00094	0.002237	0.000339	0.001085	-5.34945	-4.50689	-7.57832	-3.91107	-11.9055
1900	0.000242	0.013256	0.00304	0.009587	0.01514	-0.05586	0.008196	-0.00056	0.000107	-0.00095	0.00224	0.000343	0.001087	-5.43209	-4.64551	-6.75906	-3.32868	-11.2334
2000	-0.00503	0.013323	0.003088	0.009715	0.01534	-0.05586	0.008154	-0.00059	0.000071	-0.00095	0.002243	0.000348	0.001088	-5.50888	-4.75896	-6.14308	-2.84068	-10.6232
2100	0.015709	0.013842	0.003097	0.010163	0.015604	-0.05586	0.00766	-0.00061	0.00005	-0.00095	0.002246	0.000353	0.001088	-5.57649	-4.88851	-5.41326	-2.35267	-10.1291
2200	0.015758	0.013908	0.003161	0.010298	0.015836	-0.05586	0.007628	-0.00064	-7E-06	-0.00095	0.002251	0.000358	0.001089	-5.65495	-5.06591	-4.69971	-1.71204	-9.28484
2300	0.015784	0.01383	0.003289	0.010014	0.016057	-0.05586	0.007859	-0.00066	-5.3E-05	-0.00095	0.002255	0.000361	0.001089	-5.70211	-5.22805	-4.25246	-1.22202	-8.51264
2400	0.01593	0.013914	0.003319	0.010344	0.016525	-0.05586	0.00777	-0.0007	-0.00012	-0.00096	0.002259	0.000365	0.00109	-5.87196	-5.47187	-2.64036	-0.32634	-7.94249
2500	0.015948	0.013948	0.003369	0.010379	0.01663	-0.05586	0.007756	-0.00071	-0.00014	-0.00096	0.002261	0.00037	0.00109	-5.89784	-5.5911	-2.49602	0.033136	-7.31832
2600	0.016005	0.014012	0.003455	0.010542	0.017003	-0.05586	0.007715	-0.00073	-0.0002	-0.00096	0.002266	0.000374	0.001091	-5.98506	-5.75695	-1.82516	0.74205	-6.4541
2700	0.015643	0.014315	0.003988	0.010735	0.017636	-0.05586	0.007547	-0.00074	-0.00022	-0.00096	0.002269	0.000377	0.001091	-6.09649	-5.94632	-0.85749	1.509203	-5.76191
2800	0.015762	0.014421	0.004128	0.01092	0.017694	-0.05586	0.007491	-0.00075	-0.0003	-0.00096	0.002272	0.000381	0.001092	-6.23714	-6.24089	0.205732	2.561527	-4.70764
2900	0.015873	0.014538	0.004206	0.011104	0.018629	-0.05586	0.007432	-0.00076	-0.00037	-0.00097	0.002276	0.000386	0.001093	-6.34565	-6.4711	1.085986	3.417043	-3.87942
3000	0.016009	0.014707	0.004331	0.011397	0.022122	-0.05586	0.007354	-0.00078	-0.00043	-0.00097	0.002279	0.000391	0.001095	-6.53554	-6.78713	2.393155	4.666177	-2.82914
3100	0.016545	0.005887	0.004351	0.011568	0.017576	-0.05586	0.007295	-0.00082	-0.0005	-0.00097	0.002282	0.000392	0.001097	-6.76341	-7.11594	4.027623	6.210524	-1.64283
3200	0.016729	0.007013	0.004512	0.012003	0.017527	-0.05586	0.007196	-0.00085	-0.00058	-0.00097	0.002285	0.000397	0.001098	-7.01214	-7.48807	5.80033	7.857292	-0.35649
3300	0.017044	0.008656	0.004728	0.016335	0.016538	-0.05586	0.007016	-0.00085	-0.00068	-0.00098	0.002288	0.000399	0.0011	-7.46621	-8.07432	8.98795	10.66081	1.481989
3400	0.017549	0.015567	0.005007	0.018807	0.015924	-0.05586	0.006752	-0.00088	-0.00087	-0.00098	0.002291	0.000402	0.001101	-8.05341	-8.7006	12.59435	14.00456	4.410758

Tabla D.5. Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-3A.

Fecha: 06-03.2015 Hora: 10:26:24 V-3A

P (UNID.)	Acero 1	Acero 2	Acero 3	Varilla 1	Varilla 2	Varilla 3	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	C. Carga 1	C. Carga 2	C. Carga 3	C. Carga 4	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	LVDT 4	LVDT 5
0	0.016291	0.015523	0.00205	0.013288	0.011254	-0.05586	0.009102	-0.00013	-0.00061	-0.00082	0.001936	0.000272	0.001074	-4.06445	-5.83204	-12.5	-9.69284	-16.7708
100	0.016203	0.015501	0.001968	0.013205	0.011226	-0.05586	0.009051	-0.00021	-0.0007	-0.00082	0.001939	0.000276	0.001075	-4.36911	-5.54737	-12.0487	-9.03614	-16.2747
200	0.016344	0.015594	0.002089	0.013348	0.011348	-0.05586	0.0091	-0.00019	-0.00071	-0.00082	0.001942	0.000282	0.001076	-4.26394	-5.66207	-11.7865	-8.516	-15.8686
300	0.016382	0.016466	0.002123	0.013387	0.01141	-0.05586	0.009113	-0.00022	-0.00077	-0.00082	0.001945	0.000288	0.001077	-4.12956	-5.76232	-11.4958	-8.01996	-15.4685
400	0.016479	0.016546	0.002219	0.013497	0.011515	-0.05586	0.009147	-0.00022	-0.00078	-0.00082	0.001948	0.000293	0.001079	-4.16963	-5.73674	-11.2762	-7.72274	-15.0984
500	0.016419	0.015664	0.002164	0.013449	0.011514	-0.05586	0.00912	-0.00029	-0.00085	-0.00082	0.00195	0.000303	0.001081	-4.24016	-5.67939	-11.0323	-7.36929	-14.7343
600	0.016441	0.016325	0.002183	0.013467	0.011553	-0.05586	0.009136	-0.00034	-0.0009	-0.00083	0.001953	0.000307	0.001082	-4.2798	-5.64474	-10.8229	-7.09616	-14.3962
700	0.016467	0.016402	0.002215	0.013503	0.011612	-0.05586	0.009136	-0.00036	-0.00095	-0.00083	0.001953	0.000313	0.001086	-4.3374	-5.60596	-10.7009	-6.85116	-14.0601
800	0.016487	0.016998	0.002238	0.013533	0.011664	-0.05586	0.009129	-0.0004	-0.00099	-0.00083	0.001957	0.00032	0.001086	-4.40626	-5.54201	-10.5261	-6.60013	-13.754
900	0.016609	0.017064	0.002354	0.013654	0.011779	-0.05586	0.009158	-0.00039	-0.00101	-0.00083	0.00196	0.000321	0.001088	-4.48639	-5.47229	-10.3228	-6.3752	-13.4339
1000	0.016588	0.015422	0.002352	0.013657	0.011809	-0.05586	0.009143	-0.00044	-0.00106	-0.00083	0.001967	0.000326	0.001088	-4.53522	-5.42732	-10.0849	-6.17839	-13.1519
1100	0.01671	0.015632	0.002461	0.013782	0.01195	-0.05586	0.009163	-0.00044	-0.00108	-0.00083	0.001968	0.000334	0.00109	-4.57987	-5.38854	-9.89585	-5.9615	-12.8658
1200	0.016725	0.015459	0.002489	0.013814	0.012123	-0.05586	0.009149	-0.00046	-0.00114	-0.00083	0.001971	0.000339	0.001091	-4.61117	-5.38358	-9.64377	-5.69842	-12.5657
1300	0.016589	0.015599	0.002384	0.013719	0.012214	-0.05586	0.009098	-0.00054	-0.00125	-0.00084	0.001974	0.000341	0.001094	-4.63747	-5.37286	-9.39575	-5.43333	-12.2376
1400	0.016648	0.015636	0.002439	0.013788	0.012437	-0.05586	0.009082	-0.00055	-0.0013	-0.00084	0.001978	0.000346	0.001094	-4.70257	-5.35388	-9.07659	-5.14615	-11.8795
1500	0.01665	0.01574	0.002452	0.013829	0.012641	-0.05586	0.009048	-0.00058	-0.00138	-0.00084	0.001983	0.00035	0.001095	-4.74138	-5.37657	-8.66594	-4.82483	-11.4194
1600	0.016729	0.015958	0.002603	0.01395	0.012907	-0.05586	0.009031	-0.00061	-0.00143	-0.00084	0.001987	0.000354	0.001096	-4.80732	-5.40628	-8.21056	-4.43121	-10.9193
1700	0.016828	0.015947	0.002648	0.014053	0.013147	-0.05586	0.009015	-0.00065	-0.00147	-0.00084	0.001989	0.00036	0.001098	-4.85991	-5.42773	-7.78771	-4.02755	-10.4351
1800	0.016938	0.015991	0.002771	0.014238	0.01338	-0.05586	0.009004	-0.00066	-0.00151	-0.00084	0.001992	0.000365	0.001099	-4.93127	-5.49498	-7.27542	-3.61586	-9.81498
1900	0.016941	0.017442	0.002783	0.014297	0.013537	-0.05586	0.008932	-0.00073	-0.00158	-0.00085	0.001997	0.000367	0.001101	-4.97134	-5.57831	-6.76109	-3.19614	-9.23283
2000	0.016943	0.017422	0.002769	0.014346	0.013688	-0.05586	0.00884	-0.00084	-0.00166	-0.00085	0.002	0.000375	0.001102	-5.04396	-5.65505	-6.20407	-2.76235	-8.62266
2100	0.017176	0.017295	0.003015	0.014645	0.014072	-0.05586	0.008842	-0.00079	-0.00166	-0.00085	0.002001	0.000382	0.001104	-5.08194	-5.79532	-5.47425	-2.10565	-7.79245
2200	0.017205	0.017339	0.003059	0.014735	0.014256	-0.05586	0.008791	-0.00084	-0.0017	-0.00085	0.002004	0.000388	0.001106	-5.14704	-5.92322	-4.88674	-1.57146	-7.11027
2300	0.017072	0.01742	0.002965	0.014688	0.01434	-0.05586	0.008674	-0.00095	-0.00179	-0.00085	0.002008	0.000391	0.001107	-5.20756	-6.06349	-4.27076	-1.06337	-6.54612
2400	0.017297	0.019631	0.003191	0.014993	0.014695	-0.05586	0.008683	-0.0009	-0.00177	-0.00085	0.002012	0.000397	0.001108	-5.23343	-6.22398	-3.53281	-0.45286	-5.88995
2500	0.017341	0.017793	0.003237	0.015079	0.014897	-0.05586	0.00864	-0.00094	-0.00181	-0.00085	0.002016	0.000399	0.001109	-5.26932	-6.36095	-2.95749	0.127524	-5.18176
2600	0.017336	0.017837	0.003255	0.015144	0.015043	-0.05586	0.008589	-0.00098	-0.00185	-0.00085	0.002019	0.000405	0.001111	-5.32817	-6.49916	-2.44113	0.663728	-4.59361
2700	0.017486	0.017936	0.003357	0.015314	0.015304	-0.05586	0.008539	-0.00099	-0.00187	-0.00086	0.002021	0.000412	0.001113	-5.4108	-6.68729	-1.60967	1.37465	-3.89942
2800	0.017578	0.018019	0.00343	0.015464	0.015609	-0.05586	0.008483	-0.001	-0.00191	-0.00086	0.002025	0.000416	0.001114	-5.51764	-6.87542	-0.79447	2.129753	-3.18324
2900	0.017558	0.017222	0.003439	0.015522	0.016027	-0.05586	0.008382	-0.00108	-0.002	-0.00086	0.002028	0.000421	0.001115	-5.61697	-7.03136	0.083756	2.963178	-2.38703
3000	0.017578	0.017269	0.003466	0.015567	0.016829	-0.05586	0.008331	-0.00111	-0.00204	-0.00086	0.00203	0.000429	0.001117	-5.69042	-7.16338	0.604184	3.489341	-1.83288
3100	0.017808	0.017446	0.003688	0.015831	0.024411	-0.05586	0.008315	-0.00109	-0.00205	-0.00086	0.002034	0.000433	0.001118	-5.82981	-7.36925	1.602348	4.457319	-1.01867
3200	0.017863	0.017519	0.003746	0.01594	0.028813	-0.05586	0.008228	-0.00112	-0.00214	-0.00086	0.002037	0.000437	0.001119	-6.00635	-7.57801	2.706224	5.5478	-0.18445
3300	0.018021	0.017572	0.003935	0.016157	0.029869	-0.05586	0.008124	-0.00115	-0.00227	-0.00086	0.00204	0.000443	0.001121	-6.30892	-7.83875	4.245146	7.610277	1.507996
3400	0.018126	0.017708	0.004037	0.016292	0.030266	-0.05586	0.008055	-0.00118	-0.00237	-0.00086	0.002043	0.000451	0.001122	-6.5201	-7.99222	5.265672	8.985931	2.604284
3500	0.018256	0.017887	0.004178	0.016509	0.03131	-0.05586	0.007949	-0.00121	-0.00249	-0.00087	0.002046	0.000455	0.001123	-6.78553	-8.23151	6.613498	10.76123	3.978645
3600	0.018457	0.018133	0.004379	0.016915	0.025234	-0.05586	0.00783	-0.00125	-0.00263	-0.00087	0.002048	0.000461	0.001125	-7.10813	-8.58095	8.361811	12.99641	5.687094

Tabla D.6. Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-3B.

Fecha:	04-03-2015		V-3B		10:42:38		a.m.											
P (UNID.)	Acero 1	Acero 2	Acero 3	Varilla 1	Varilla 2	Varilla 3	Conc. 1	Conc. 2	Conc. 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	LVDT 4	LVDT 5
0	0.015065	-0.05462	-0.00162	0.008315	0.011386	-0.05586	0.007951	-0.00017	0.000518	-0.00066	0.001762	0.000225	0.001054	-5.53767	-3.38554	-18.859	-17.4768	-16.0106
100	0.015091	-0.05462	-0.00159	0.008329	0.011427	-0.05586	0.007965	-0.00022	0.000484	-0.00066	0.001765	0.00023	0.001055	-5.2207	-3.71188	-18.6222	-16.5259	-15.0123
200	0.015117	-0.05462	-0.00156	0.008342	0.011467	-0.05586	0.007978	-0.00027	0.000449	-0.00066	0.001767	0.000237	0.001056	-4.90373	-4.03821	-18.3853	-15.575	-14.0141
300	0.01516	-0.05462	-0.00154	0.008363	0.011534	-0.05586	0.007972	-0.00032	0.00042	-0.00066	0.00177	0.000243	0.001056	-4.36077	-4.55681	-18.0601	-15.0207	-13.3339
400	0.015208	-0.05462	-0.00151	0.008399	0.011603	-0.05586	0.00796	-0.00035	0.000406	-0.00066	0.001771	0.00025	0.001059	-4.31027	-4.62034	-17.7612	-14.5849	-12.7698
500	0.015232	-0.05462	-0.00149	0.008425	0.011673	-0.05586	0.00796	-0.00037	0.00039	-0.00067	0.001773	0.000257	0.001061	-4.39499	-4.53865	-17.5437	-14.2636	-12.3056
600	0.015265	-0.05462	-0.00146	0.008444	0.011744	-0.05586	0.007942	-0.00039	0.000373	-0.00067	0.001775	0.000263	0.001063	-4.54982	-4.39384	-17.2835	-13.9463	-11.8275
700	0.015305	-0.05462	-0.00145	0.008481	0.011822	-0.05586	0.007933	-0.00042	0.000351	-0.00067	0.001777	0.000272	0.001064	-4.68463	-4.26884	-17.0741	-13.6712	-11.3974
800	0.015341	-0.05462	-0.00142	0.008512	0.011913	-0.05586	0.007916	-0.00044	0.000335	-0.00067	0.001779	0.000277	0.001067	-4.85323	-4.12609	-16.8301	-13.376	-10.9433
900	0.015484	-0.05462	-0.0013	0.008612	0.012035	-0.05586	0.007965	-0.00046	0.000334	-0.00067	0.001782	0.000285	0.001069	-4.99805	-4.00645	-16.6086	-13.1872	-10.4972
1000	0.01548	-0.05462	-0.00127	0.008645	0.01211	-0.05586	0.007942	-0.00048	0.000314	-0.00067	0.001786	0.000291	0.001069	-5.13243	-3.89464	-16.3849	-12.9603	-10.037
1100	0.015488	-0.05462	-0.00114	0.008746	0.012271	-0.05586	0.008006	-0.0005	0.000328	-0.00067	0.001791	0.000295	0.001069	-5.25096	-3.80677	-16.1329	-12.7273	-9.48489
1200	0.015486	-0.05462	-0.00111	0.008769	0.012342	-0.05586	0.007987	-0.00053	0.000318	-0.00067	0.001796	0.0003	0.001069	-5.33693	-3.74777	-15.9133	-12.5225	-8.92074
1300	0.015575	-0.05462	-0.00098	0.008855	0.012487	-0.05586	0.008014	-0.00056	0.000311	-0.00067	0.001798	0.000306	0.001072	-5.38618	-3.73003	-15.6653	-12.2674	-8.56065
1400	0.015623	-0.05462	-0.00093	0.008889	0.01258	-0.05586	0.00799	-0.00062	0.000305	-0.00068	0.0018	0.000312	0.001074	-5.47299	-3.70981	-15.3868	-12.0003	-7.95449
1500	0.015722	-0.05462	-0.0009	0.008925	0.012665	-0.05586	0.007974	-0.00069	0.000298	-0.00068	0.001803	0.000319	0.001076	-5.53893	-3.70156	-15.1144	-11.7312	-7.41835
1600	0.015731	-0.05462	-0.00086	0.008959	0.01277	-0.05586	0.007958	-0.00075	0.000289	-0.00068	0.001805	0.000324	0.001078	-5.62406	-3.69455	-14.783	-11.4119	-6.8702
1700	0.015839	-0.05462	-0.0006	0.009101	0.013008	-0.05586	0.007978	-0.00078	0.000303	-0.00068	0.001809	0.00033	0.001078	-5.69918	-3.71724	-14.4964	-11.0303	-6.25804
1800	0.015884	-0.05462	-0.00056	0.009127	0.01311	-0.05586	0.007951	-0.00081	0.000303	-0.00068	0.001812	0.000337	0.00108	-5.78224	-3.75107	-14.1975	-10.6849	-5.61187
1900	0.016507	-0.05462	-0.0005	0.009171	0.01316	-0.05586	0.007915	-0.00083	0.00028	-0.00068	0.001814	0.000344	0.001081	-5.84734	-3.84679	-13.9149	-10.1929	-4.81967
2000	0.016553	-0.05462	-0.00048	0.009186	0.013252	-0.05586	0.007889	-0.00086	0.000261	-0.00068	0.001816	0.000354	0.001083	-5.88115	-3.92352	-13.608	-9.87157	-4.25552
2100	0.017651	-0.05462	0.000132	0.009302	0.013548	-0.05586	0.007895	-0.0009	0.000231	-0.00068	0.001819	0.000359	0.001084	-5.96211	-4.051	-13.053	-9.32332	-3.35328
2200	0.01751	-0.05462	0.000178	0.009374	0.013658	-0.05586	0.007844	-0.00091	0.000222	-0.00068	0.001822	0.000365	0.001086	-6.01636	-4.14466	-12.6789	-8.88351	-2.68311
2300	0.017909	-0.05462	0.00021	0.009478	0.013857	-0.05586	0.007774	-0.00095	0.000194	-0.00068	0.001824	0.000372	0.001088	-6.10651	-4.24986	-11.9471	-8.33526	-2.08495
2400	0.017754	-0.05462	0.000247	0.009557	0.013993	-0.05586	0.007724	-0.00098	0.000172	-0.00069	0.001827	0.000378	0.00109	-6.16828	-4.34888	-11.3921	-7.89545	-1.48879
2500	0.019114	-0.05462	0.000447	0.009661	0.014212	-0.05586	0.007706	-0.00101	0.000149	-0.00069	0.001832	0.000381	0.00109	-6.25258	-4.50359	-10.7354	-7.21666	-0.40851
2600	0.019648	-0.05462	0.000461	0.009748	0.014346	-0.05586	0.007653	-0.00104	0.000128	-0.00069	0.001835	0.000388	0.001091	-6.3181	-4.60219	-10.0666	-6.80698	-0.15844
2700	0.020015	-0.05462	0.000491	0.009868	0.01451	-0.05586	0.007592	-0.00105	0.000112	-0.00069	0.001839	0.00039	0.001093	-6.40241	-4.74122	-9.33883	-6.20852	0.413709
2800	0.019879	-0.05462	0.00052	0.010018	0.014676	-0.05586	0.007527	-0.0011	0.000077	-0.00069	0.001841	0.000395	0.001094	-6.48754	-4.90501	-8.5216	-5.62411	0.969855
2900	0.020542	-0.05462	0.000224	0.010146	0.014983	-0.05586	0.007453	-0.00114	0.000047	-0.00069	0.001846	0.000399	0.001096	-6.56308	-5.09933	-7.53157	-4.86299	1.684042
3000	0.020793	-0.05462	0.000288	0.010285	0.016308	-0.05586	0.00738	-0.00113	-0.00012	-0.0007	0.00185	0.000399	0.001096	-6.65949	-5.31469	-6.38703	-3.99743	2.244189
3100	0.020521	-0.05462	0.000385	0.010435	0.020977	-0.05586	0.007299	-0.00114	-0.00023	-0.0007	0.001855	0.000403	0.001097	-6.77134	-5.56759	-5.13882	-2.97121	2.898361
3200	0.020473	-0.05462	0.00046	0.010603	0.02272	-0.05586	0.007196	-0.00114	-0.00033	-0.0007	0.001858	0.000406	0.001099	-6.86273	-5.8176	-3.73814	-1.86667	3.488516
3300	0.020902	-0.05462	0.000511	0.010904	0.023176	-0.05586	0.007097	-0.00116	-0.00043	-0.0007	0.001863	0.00041	0.001099	-6.96957	-6.21408	-2.04471	-0.27212	4.480777
3400	0.020708	-0.05462	0.00064	0.011097	0.023623	-0.05586	0.006985	-0.00117	-0.00051	-0.00071	0.001866	0.000411	0.001101	-7.07349	-6.58249	-0.43261	1.1437	5.210968
3500	0.021141	-0.05462	0.000756	0.011299	0.024022	-0.05586	0.006876	-0.00117	-0.00062	-0.00071	0.001868	0.000416	0.001103	-7.13025	-7.03962	1.325871	2.816576	6.011179

Tabla D.7. Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-4A.

Fecha: 18-03.2015  
11:32:58  
Hora: a.m.

V-4A

P (UNID.)	Acero 1	Acero 2	Acero 3	Varilla 1	Varilla 2	Varilla 3	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	C. Carga 1	C. Carga 2	C. Carga 3	C. Carga 4	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	LVDT 4	LVDT 5
0	0.008342	0.015433	-0.00281	0.007393	-0.05594	-0.05587	0.008535	0.000557	0.002317	-0.00113	0.002672	0.000197	0.001015	-5.31732	-5.32954	-12.4207	-19.1095	-9.68294
100	0.008416	0.015493	-0.00275	0.007458	-0.05594	-0.05587	0.008569	0.000552	0.002289	-0.00114	0.002675	0.000202	0.001016	-5.00389	-5.65588	-12.2337	-18.7521	-8.88673
200	0.008417	0.015503	-0.00276	0.007454	-0.05594	-0.05587	0.008555	0.000482	0.002266	-0.00114	0.002678	0.000208	0.001017	-5.01266	-5.64804	-11.9532	-18.258	-8.51864
300	0.008461	0.015523	-0.00274	0.00748	-0.05594	-0.05587	0.008555	0.000436	0.002257	-0.00114	0.002681	0.000215	0.001018	-5.00974	-5.66578	-11.7885	-17.9427	-8.27657
400	0.00847	0.015524	-0.00273	0.007483	-0.05594	-0.05587	0.008546	0.000387	0.002235	-0.00114	0.002684	0.000222	0.001018	-5.01391	-5.63236	-11.6401	-17.7178	-8.03851
500	0.008475	0.015528	-0.00274	0.007491	-0.05594	-0.05587	0.008522	0.000335	0.002207	-0.00114	0.002686	0.00023	0.00102	-5.05731	-5.61256	-11.5039	-17.4306	-7.79645
600	0.008491	0.015541	-0.00273	0.007515	-0.05594	-0.05587	0.008517	0.000296	0.002194	-0.00114	0.002689	0.000237	0.001022	-5.13035	-5.5647	-11.3555	-17.2238	-7.55038
700	0.008529	0.015565	-0.00271	0.007542	-0.05594	-0.05587	0.00852	0.000266	0.002193	-0.00114	0.002691	0.000246	0.001024	-5.18043	-5.52468	-11.2274	-16.9728	-7.29232
800	0.008547	0.01557	-0.00268	0.007596	-0.05594	-0.05587	0.008519	0.00024	0.002166	-0.00114	0.002694	0.000252	0.001025	-5.22926	-5.45413	-11.1034	-16.7559	-7.04025
900	0.008601	0.015609	-0.00266	0.00762	-0.05594	-0.05587	0.00854	0.000195	0.002168	-0.00115	0.002696	0.000261	0.001027	-5.2735	-5.40999	-10.9916	-16.545	-6.80419
1000	0.008623	0.015634	-0.00263	0.007629	-0.05594	-0.05587	0.008557	0.000167	0.002152	-0.00115	0.002699	0.000267	0.001029	-5.32817	-5.38111	-10.9326	-16.3381	-6.52411
1100	0.008641	0.015675	-0.00261	0.007673	-0.05594	-0.05587	0.008557	0.000137	0.002127	-0.00115	0.002702	0.000274	0.00103	-5.42624	-5.33243	-10.7842	-16.1192	-6.05999
1200	0.008709	0.015724	-0.00255	0.007719	-0.05594	-0.05587	0.008584	0.000151	0.00212	-0.00115	0.002706	0.00028	0.001031	-5.50429	-5.29653	-10.6826	-15.9184	-5.65989
1300	0.00876	0.015804	-0.00246	0.007791	-0.05594	-0.05587	0.008596	0.000133	0.002089	-0.00115	0.002711	0.000285	0.001032	-5.57315	-5.30272	-10.4834	-15.4625	-5.21177
1400	0.008814	0.015839	-0.00242	0.007811	-0.05594	-0.05587	0.008598	0.00011	0.002056	-0.00115	0.002714	0.000289	0.001034	-5.6804	-5.36502	-10.1703	-15.0087	-4.33154
1500	0.008908	0.015953	-0.00233	0.007892	-0.05594	-0.05587	0.008593	0.000147	0.00205	-0.00115	0.002717	0.000296	0.001035	-5.72589	-5.44134	-9.76981	-14.591	-3.48131
1600	0.008938	0.015977	-0.00232	0.007907	-0.05594	-0.05587	0.008557	0.000101	0.002001	-0.00115	0.002721	0.000299	0.001038	-5.79601	-5.53458	-9.28598	-14.1873	-2.6551
1700	0.009041	0.016077	-0.00227	0.007929	-0.05594	-0.05587	0.008573	0.000071	0.001999	-0.00116	0.002724	0.000302	0.001039	-5.87238	-5.69094	-8.39962	-13.5065	-1.92891
1800	0.008942	0.016162	-0.00224	0.008442	-0.05594	-0.05587	0.008501	0.000015	0.001937	-0.00116	0.002725	0.000308	0.001041	-6.01344	-5.8865	-7.35267	-12.8337	-0.99266
1900	0.009012	0.016352	-0.00216	0.008789	-0.05594	-0.05587	0.008472	-1.7E-05	0.001947	-0.00116	0.002728	0.000314	0.001043	-6.12988	-6.06473	-6.37077	-12.0325	-0.22246
2000	0.008832	0.016462	-0.00212	0.008896	-0.05594	-0.05587	0.008441	-6.7E-05	0.00194	-0.00116	0.002731	0.000321	0.001045	-6.31184	-6.3003	-5.42546	-11.2292	0.929844
2100	0.008913	0.016647	-0.00204	0.009164	-0.05594	-0.05587	0.008394	-0.00012	0.002006	-0.00116	0.002736	0.000323	0.001046	-6.50424	-6.57424	-3.92923	-10.225	1.966116
2200	0.008973	0.016774	-0.00199	0.009496	-0.05594	-0.05587	0.008326	-0.00029	0.001951	-0.00116	0.002739	0.000328	0.001048	-6.72418	-6.80198	-2.75014	-9.2209	3.258456
2300	0.008897	0.016974	-0.00195	0.009966	-0.05594	-0.05587	0.008373	-0.00039	0.001878	-0.00117	0.002742	0.000333	0.001049	-7.00046	-7.08912	-1.19902	-7.9075	4.838871
2400	0.008877	0.017139	-0.0019	0.01035	-0.05594	-0.05587	0.008295	-0.00044	0.001821	-0.00117	0.002745	0.000341	0.001051	-7.2926	-7.36595	0.177271	-6.75074	6.291252
2500	0.008844	0.017394	-0.00183	0.010776	-0.05594	-0.05587	0.008208	-0.00051	0.001761	-0.00117	0.00275	0.000342	0.001052	-7.70159	-7.77357	2.02113	-5.14013	8.3758
2600	0.008769	0.017697	-0.00177	0.011367	-0.05594	-0.05587	0.008091	-0.00055	0.001693	-0.00117	0.002754	0.000346	0.001053	-8.04131	-8.15436	4.01136	-3.5275	10.06624
2700	0.008778	0.018198	-0.00167	0.016013	-0.05594	-0.05587	0.007911	-0.00051	0.001579	-0.00117	0.002758	0.000351	0.001054	-8.69654	-8.80291	7.530346	-0.35044	13.03102
2800	0.008839	0.019087	-0.00154	0.018635	-0.05594	-0.05587	0.007693	-0.00054	0.001359	-0.00117	0.002761	0.000357	0.001055	-9.67312	-9.74149	12.45002	4.473385	17.28014

Tabla D.8. Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-4B.

Fecha: 17-03-2015  
04:34:35  
Hora: p.m.

V-4B

P (UNID.)	Acero 1	Acero 2	Acero 3	Varilla 1	Varilla 2	Varilla 3	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	C. Carga 1	C. Carga 2	C. Carga 3	C. Carga 4	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	LVDT 4	LVDT 5
0	0.010973	0.015532	0.003649	0.007791	0.00884	-0.00131	0.008353	-0.00385	0.00089	-0.00114	0.002672	0.000204	0.001039	-5.69626	-4.51101	-18.4158	-10.1005	-10.4972
100	0.010986	0.01555	0.003662	0.007815	0.008858	-0.00129	0.008342	-0.00392	0.000869	-0.00114	0.002675	0.000208	0.00104	-5.42332	-4.81755	-17.8324	-9.04015	-9.69895
200	0.011	0.015568	0.003665	0.007857	0.008882	-0.00125	0.008315	-0.00409	0.000848	-0.00114	0.002679	0.000214	0.001041	-5.44586	-4.75071	-17.2306	-8.24489	-9.11479
300	0.011018	0.015587	0.003687	0.007883	0.00891	-0.00122	0.008311	-0.00427	0.000828	-0.00114	0.002682	0.00022	0.001042	-5.53726	-4.65293	-16.9196	-7.787	-8.61666
400	0.011022	0.015594	0.003685	0.007903	0.008915	-0.0012	0.008302	-0.00445	0.000807	-0.00115	0.002685	0.000226	0.001043	-5.61029	-4.56795	-16.6086	-7.28695	-8.15454
500	0.011024	0.015618	0.003694	0.007922	0.008939	-0.00116	0.008277	-0.00461	0.000795	-0.00115	0.002688	0.000233	0.001044	-5.67832	-4.50771	-16.33	-6.93149	-7.70642
600	0.01104	0.015625	0.003712	0.007946	0.008967	-0.00113	0.00827	-0.00477	0.000772	-0.00115	0.00269	0.00024	0.001046	-5.73925	-4.43345	-16.0861	-6.56197	-7.35833
700	0.011042	0.015632	0.003719	0.007968	0.008985	-0.00109	0.008257	-0.00487	0.000763	-0.00115	0.002693	0.000248	0.001048	-5.78432	-4.39096	-15.9052	-6.27479	-6.96623
800	0.011049	0.015636	0.003726	0.007992	0.009013	-0.00103	0.008246	-0.00495	0.000736	-0.00115	0.002697	0.000253	0.001048	-5.79142	-4.38394	-15.6978	-5.92535	-6.56612
900	0.011046	0.015645	0.003731	0.008007	0.009024	-0.00098	0.00823	-0.00501	0.00072	-0.00115	0.0027	0.00026	0.00105	-5.80394	-4.37157	-15.4986	-5.68838	-6.27805
1000	0.011047	0.015658	0.003744	0.008031	0.009059	-0.00089	0.008225	-0.00506	0.000702	-0.00115	0.002701	0.000268	0.001052	-5.81771	-4.36001	-15.3238	-5.39919	-5.93996
1100	0.011076	0.015675	0.003756	0.008062	0.009117	-0.0008	0.008217	-0.0051	0.000693	-0.00115	0.002705	0.000274	0.001055	-5.8511	-4.34846	-15.1611	-5.08189	-5.54186
1200	0.011087	0.015685	0.003781	0.008364	0.00922	-0.00072	0.008203	-0.00517	0.000665	-0.00116	0.002708	0.00028	0.001056	-5.92914	-4.3332	-14.6102	-4.81278	-4.82167
1300	0.011123	0.015695	0.003833	0.00861	0.009432	-0.00061	0.008196	-0.00522	0.000644	-0.00116	0.002712	0.000284	0.001058	-6.01678	-4.33856	-14.2483	-4.54167	-3.96944
1400	0.01112	0.015707	0.003856	0.008796	0.009634	-0.00051	0.008181	-0.00527	0.00063	-0.00116	0.002714	0.000289	0.00106	-6.16243	-4.31917	-13.9434	-4.26654	-3.23125
1500	0.011152	0.015755	0.003903	0.009042	0.009983	-0.00037	0.008181	-0.00532	0.000592	-0.00116	0.002718	0.000295	0.001061	-6.25801	-4.32247	-13.5185	-3.95124	-2.30901
1600	0.011158	0.015773	0.003954	0.009245	0.010463	-0.00025	0.008147	-0.00539	0.000553	-0.00116	0.002722	0.0003	0.001063	-6.39531	-4.32412	-13.1485	-3.62791	-1.36276
1700	0.01119	0.015819	0.00402	0.009386	0.010829	-0.00022	0.008171	-0.00546	0.000555	-0.00117	0.002725	0.000304	0.001064	-6.53262	-4.33237	-12.7053	-3.39897	-0.48053
1800	0.011221	0.015885	0.00412	0.009594	0.011421	0.000114	0.008048	-0.00558	0.00052	-0.00117	0.002727	0.00031	0.001066	-6.8185	-4.40993	-11.451	-2.63985	0.597757
1900	0.011234	0.015945	0.004192	0.009754	0.011876	0.000307	0.008023	-0.00565	0.000486	-0.00117	0.002732	0.000314	0.001067	-6.99044	-4.43428	-10.8818	-2.15184	1.481989
2000	0.011256	0.016059	0.004383	0.009953	0.01211	0.000452	0.007987	-0.00591	0.000438	-0.00117	0.002735	0.00032	0.001069	-7.336	-4.51473	-9.80437	-1.26219	2.788332
2100	0.011234	0.016136	0.004567	0.010261	0.012645	0.000806	0.007969	-0.00604	0.00039	-0.00117	0.002737	0.000329	0.001071	-7.64442	-4.56382	-8.80417	-0.38659	3.840609
2200	0.011247	0.016246	0.004694	0.010414	0.018714	0.000964	0.007942	-0.00614	0.000364	-0.00117	0.002741	0.000334	0.001072	-7.94574	-4.65871	-8.12518	0.394622	5.206967
2300	0.011276	0.016372	0.004848	0.010677	0.024176	0.00118	0.007851	-0.00626	0.000316	-0.00117	0.002744	0.000339	0.001074	-8.33887	-4.75649	-7.05993	1.358584	6.677354
2400	0.011303	0.016541	0.005077	0.010957	0.026696	0.00138	0.007785	-0.00635	0.000272	-0.00117	0.002748	0.000344	0.001075	-8.86973	-4.89016	-5.84018	2.587635	8.617863
2500	0.01131	0.016724	0.005234	0.014679	0.027324	0.001762	0.00765	-0.00643	0.000295	-0.00118	0.00275	0.000349	0.001077	-9.48531	-5.06921	-4.37241	3.99542	11.11052
2600	0.011339	0.0169	-0.0546	0.018743	0.028246	0.002206	0.007513	-0.00651	0.000227	-0.00118	0.002753	0.000353	0.001078	-9.97986	-5.26972	-2.39031	5.359025	12.68493
2700	0.011361	0.017128	-0.0546	0.019937	0.029163	0.00398	0.007403	-0.00664	0.000165	-0.00118	0.002757	0.00036	0.00108	-9.98362	-5.52014	-0.34926	7.043949	14.98153
2800	0.011374	0.017394	-0.0546	0.020619	0.025083	0.011251	0.007272	-0.00677	0.00007	-0.00118	0.002761	0.000363	0.001081	-9.98988	-5.76314	1.799542	9.244995	17.71825



Tabla D.9. Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-5A.

Fecha: 13-03-2015

V-5A

10:28:44

a.m.

P (UNID.)	Acero 1	Acero 2	Acero 3	Varilla 1	Varilla 2	Varilla 3	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	C. Carga 1	C. Carga 2	C. Carga 3	C. Carga 4	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	LVDT 4	LVDT 5
0	-0.054553	-0.05462	-0.00403	0.00837	0.01177	0.001853	0.009151	-0.00158	-8.8E-05	-0.00108	0.00243	0.000228	0.001048	-4.0077	-5.46197	-10.461	-4.86098	-9.85499
100	-0.054553	-0.05462	-0.00402	0.008425	0.011796	0.001873	0.00916	-0.0016	-0.0001	-0.00109	0.002432	0.000233	0.001049	-3.68718	-5.78418	-9.90805	-4.06571	-9.17081
200	-0.054553	-0.05462	-0.004	0.008464	0.011835	0.00188	0.009147	-0.00161	-0.00011	-0.00109	0.002434	0.000239	0.00105	-3.80403	-5.64969	-9.47097	-3.5757	-8.77671
300	-0.054553	-0.05462	-0.004	0.008499	0.011864	0.001898	0.009147	-0.00164	-0.00013	-0.00109	0.002437	0.000245	0.001051	-3.80278	-5.64804	-9.20263	-3.22827	-8.42861
400	-0.054553	-0.05462	-0.00399	0.008521	0.01189	0.001911	0.009138	-0.00165	-0.00015	-0.00109	0.00244	0.000252	0.001052	-3.81989	-5.62122	-8.97901	-2.95113	-8.16054
500	-0.054553	-0.05462	-0.00398	0.008558	0.011924	0.001928	0.00914	-0.00168	-0.00015	-0.00109	0.002443	0.000258	0.001053	-3.85411	-5.58574	-8.79198	-2.65993	-7.85446
600	-0.054553	-0.05462	-0.00398	0.008578	0.011942	0.00194	0.009129	-0.0017	-0.00017	-0.00109	0.002445	0.000264	0.001055	-3.93299	-5.52344	-8.60495	-2.433	-7.57039
700	-0.054553	-0.05462	-0.00398	0.008613	0.011976	0.001964	0.009127	-0.00173	-0.00018	-0.00109	0.002448	0.000271	0.001056	-4.01187	-5.45413	-8.45045	-2.21611	-7.25831
800	-0.054553	-0.05462	-0.00396	0.008649	0.012015	0.001966	0.009125	-0.00174	-0.00018	-0.00109	0.002452	0.000278	0.001057	-4.07072	-5.40009	-8.31221	-1.97311	-6.98824
900	-0.054553	-0.05462	-0.00393	0.008719	0.012061	0.001988	0.009158	-0.00176	-0.00019	-0.00109	0.002455	0.000284	0.001058	-4.11078	-5.36296	-8.15771	-1.79438	-6.72417
1000	-0.054553	-0.05462	-0.00391	0.008754	0.012115	0.002004	0.009152	-0.00179	-0.00021	-0.00109	0.002458	0.000291	0.001059	-4.12956	-5.34934	-7.99304	-1.60158	-6.4541
1100	-0.054553	-0.05462	-0.0039	0.008807	0.012232	0.002019	0.009183	-0.00181	-0.00024	-0.00109	0.002462	0.000297	0.001059	-4.145	-5.33944	-7.79585	-1.42084	-6.23604
1200	-0.054553	-0.05462	-0.00389	0.008841	0.012325	0.002035	0.009162	-0.00183	-0.00025	-0.00109	0.002465	0.000304	0.00106	-4.18173	-5.34439	-7.40552	-1.27022	-5.98597
1300	-0.054553	-0.05462	-0.00389	0.008911	0.01245	0.002048	0.009134	-0.00186	-0.00026	-0.0011	0.002469	0.00031	0.001061	-4.22889	-5.34728	-6.99081	-1.07944	-5.7019
1400	-0.054553	-0.05462	-0.00388	0.009142	0.012619	0.002066	0.009095	-0.00188	-0.00028	-0.0011	0.002472	0.000317	0.001062	-4.29525	-5.34769	-6.48055	-0.88865	-5.3398
1500	-0.054553	-0.05462	-0.00389	0.009508	0.012853	0.002081	0.009077	-0.00191	-0.0003	-0.0011	0.002476	0.000323	0.001062	-4.3808	-5.34563	-5.93166	-0.71996	-4.81767
1600	-0.054553	-0.05462	-0.00391	0.009602	0.013047	0.002111	0.009055	-0.00195	-0.00029	-0.0011	0.00248	0.00033	0.001063	-4.49223	-5.35966	-5.27299	-0.47094	-4.27952
1700	-0.054553	-0.05462	-0.00389	0.009761	0.013302	0.002126	0.009019	-0.00201	-0.00032	-0.0011	0.002482	0.000335	0.001064	-4.60074	-5.37327	-4.47812	-0.2199	-3.76339
1800	-0.054553	-0.05462	-0.00389	0.00994	0.013516	0.002161	0.008981	-0.00206	-0.00032	-0.0011	0.002485	0.000341	0.001066	-4.7009	-5.41081	-3.88044	0.095392	-3.22725
1900	-0.054553	-0.05462	-0.00387	0.010033	0.013682	0.002181	0.008948	-0.0021	-0.00035	-0.0011	0.002488	0.000347	0.001068	-4.7948	-5.45867	-3.16079	0.432779	-2.63509
2000	-0.054553	-0.05462	-0.00387	0.01024	0.013904	0.002281	0.008873	-0.00216	-0.00041	-0.0011	0.002492	0.000353	0.00107	-4.89079	-5.54325	-2.37608	0.970991	-2.04894
2100	-0.054553	-0.05462	-0.00387	0.010394	0.0141	0.002366	0.008826	-0.00222	-0.00046	-0.0011	0.002495	0.000358	0.001071	-4.99471	-5.61338	-1.69912	1.432889	-1.48479
2200	-0.054553	-0.05462	-0.00386	0.010564	0.014344	0.002439	0.008795	-0.00231	-0.00048	-0.0011	0.002497	0.000363	0.001073	-5.1437	-5.70621	-0.7904	1.979134	-0.94465
2300	-0.054553	-0.05462	-0.00383	0.01074	0.014553	0.002662	0.008748	-0.0024	-0.00055	-0.0011	0.0025	0.000369	0.001074	-5.3073	-5.81595	-0.02602	2.70813	-0.20645
2400	-0.054553	-0.05462	-0.00383	0.010865	0.014731	0.002762	0.008706	-0.00246	-0.00059	-0.0011	0.002504	0.000374	0.001075	-5.43501	-5.91332	0.57369	3.272449	0.433714
2500	-0.054553	-0.05462	-0.00382	0.011011	0.014902	0.002964	0.008665	-0.00253	-0.00064	-0.00111	0.002506	0.000379	0.001077	-5.57982	-6.02182	1.299443	3.858859	1.135898
2600	-0.054553	-0.05462	-0.00381	0.011223	0.015149	0.003183	0.008616	-0.00268	-0.00069	-0.00111	0.002509	0.000385	0.001078	-5.76346	-6.19056	2.360628	4.638062	1.742057
2700	-0.054553	-0.05462	-0.00377	0.011455	0.015433	0.003441	0.008603	-0.00275	-0.00074	-0.00111	0.002511	0.00039	0.001081	-5.90786	-6.32836	3.23885	5.312835	2.424237
2800	-0.054553	-0.05462	-0.00376	0.011685	0.015624	0.003742	0.008535	-0.00287	-0.00077	-0.00111	0.002513	0.000394	0.001084	-6.12988	-6.51401	4.411845	6.234623	3.082409
2900	-0.054553	-0.05462	-0.00372	0.011995	0.015952	0.004011	0.008504	-0.00295	-0.00081	-0.00111	0.002516	0.000398	0.001087	-6.36485	-6.67986	5.523853	7.128296	3.902625
3000	-0.054553	-0.05462	-0.00369	0.012311	0.018159	0.004282	0.008454	-0.00302	-0.00087	-0.00111	0.002518	0.000404	0.001088	-6.66909	-6.88779	6.881844	8.303124	4.858876
3100	-0.054553	-0.05462	-0.00364	0.012957	0.02148	0.004618	0.008293	-0.00294	-0.00096	-0.00111	0.002522	0.000409	0.00109	-7.21748	-7.11181	9.778756	10.08645	5.869141

Tabla D.10. Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-5B.

Fecha: 11-03.2015  
09:56:26  
Hora: a.m.

V-5B

P (UNID.)	Acero 1	Acero 2	Acero 3	Varilla 1	Varilla 2	Varilla 3	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	C. Carga 1	C. Carga 2	C. Carga 3	C. Carga 4	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	LVDT 4	LVDT 5
0	0.008081	0.008114	-0.00394	0.015661	0.016594	-0.05586	0.008021	-0.00135	0.002266	-0.00096	0.002201	0.000295	0.001053	-4.44549	-4.14961	-18.6354	-9.39561	-11.3534
100	0.008084	0.008125	-0.00392	0.015715	0.016647	-0.05586	0.008015	-0.00135	0.002296	-0.00096	0.002203	0.0003	0.001054	-4.92835	-3.64298	-18.0357	-8.18865	-10.5052
200	0.008073	0.008139	-0.0039	0.015762	0.016675	-0.05586	0.008006	-0.00135	0.002267	-0.00096	0.002205	0.000305	0.001056	-5.2038	-3.38513	-17.6088	-7.58216	-9.891
300	0.008088	0.008146	-0.00387	0.015795	0.016694	-0.05586	0.008008	-0.00135	0.002273	-0.00097	0.002209	0.000311	0.001056	-5.28268	-3.322	-17.4014	-7.38134	-9.73296
400	0.008073	0.008148	-0.00388	0.01581	0.016714	-0.05586	0.007996	-0.00137	0.002283	-0.00097	0.002211	0.000318	0.001058	-5.44127	-3.18173	-17.1188	-6.96764	-9.17481
500	0.008091	0.008155	-0.00386	0.015844	0.016739	-0.05586	0.007983	-0.00138	0.002275	-0.00097	0.002213	0.000324	0.00106	-5.57064	-3.05343	-16.881	-6.67443	-8.83672
600	0.008095	0.008157	-0.00386	0.015867	0.016759	-0.05586	0.007976	-0.00139	0.00226	-0.00097	0.002216	0.00033	0.001062	-5.6466	-2.99195	-16.7082	-6.39127	-8.3766
700	0.008104	0.008168	-0.00385	0.015913	0.016784	-0.05586	0.007974	-0.00141	0.002259	-0.00097	0.002219	0.000336	0.001063	-5.70544	-2.93873	-16.4337	-6.18241	-8.13854
800	0.008102	0.008173	-0.00384	0.015949	0.016814	-0.05586	0.00797	-0.00142	0.002257	-0.00097	0.002222	0.000343	0.001065	-5.75803	-2.90284	-16.2142	-5.96953	-7.80245
900	0.007996	0.008222	-0.0038	0.016044	0.016971	-0.05586	0.007999	-0.00144	0.00228	-0.00097	0.002224	0.000349	0.001066	-5.80853	-2.84879	-16.019	-5.72654	-7.44636
1000	0.007992	0.008222	-0.00379	0.016058	0.016981	-0.05586	0.007987	-0.00147	0.002275	-0.00097	0.002227	0.000356	0.001068	-5.83524	-2.82652	-15.8421	-5.54378	-7.09626
1100	0.008079	0.008254	-0.0037	0.016189	0.017067	-0.05586	0.008017	-0.00147	0.002275	-0.00097	0.002228	0.000362	0.001071	-5.88574	-2.80011	-15.6368	-5.30882	-6.75417
1200	0.008027	0.008265	-0.0037	0.016217	0.017086	-0.05586	0.008014	-0.00149	0.002267	-0.00097	0.002232	0.000366	0.001072	-5.90994	-2.7898	-15.4681	-5.12004	-6.38808
1300	0.008041	0.008269	-0.00369	0.016262	0.017118	-0.05586	0.007997	-0.00152	0.002246	-0.00098	0.002235	0.000372	0.001074	-5.96211	-2.75762	-15.2709	-4.93528	-5.96797
1400	0.00805	0.008276	-0.00368	0.016365	0.017142	-0.05586	0.007983	-0.00154	0.002214	-0.00098	0.002238	0.000378	0.001076	-6.051	-2.73575	-15.0574	-4.75052	-5.42182
1500	0.008374	0.008321	-0.00366	0.01656	0.017304	-0.05586	0.008001	-0.00157	0.002194	-0.00098	0.00224	0.000384	0.001078	-6.14491	-2.7341	-14.5919	-4.43121	-4.72964
1600	0.008389	0.008318	-0.00364	0.016695	0.017653	-0.05586	0.007965	-0.00159	0.002145	-0.00098	0.002243	0.000389	0.00108	-6.24215	-2.78361	-14.1467	-4.01149	-3.98945
1700	0.008455	0.008314	-0.00364	0.016832	0.01814	-0.05586	0.007931	-0.00163	0.002123	-0.00098	0.002245	0.000394	0.001082	-6.36568	-2.86158	-13.5368	-3.50541	-3.16123
1800	0.008504	0.008327	-0.00363	0.016967	0.018319	-0.05586	0.007907	-0.00168	0.002061	-0.00098	0.002248	0.0004	0.001084	-6.45583	-2.93172	-13.1485	-3.10777	-2.60709
1900	0.005084	0.008393	-0.00359	0.017281	0.018793	-0.05586	0.007889	-0.00174	0.002031	-0.00099	0.002251	0.000403	0.001086	-6.60523	-3.0394	-12.3028	-2.43702	-1.79687
2000	0.005175	0.008397	-0.00358	0.017403	0.018949	-0.05586	0.00786	-0.00178	0.001985	-0.00099	0.002254	0.000408	0.001087	-6.667	-3.14295	-11.7763	-1.98516	-1.20872
2100	0.005254	0.0084	-0.00357	0.017582	0.019132	-0.05586	0.007826	-0.00181	0.001974	-0.00099	0.002256	0.000413	0.001089	-6.75256	-3.30138	-11.1339	-1.35256	-0.47052
2200	0.005152	0.008397	-0.00357	0.017749	0.01936	-0.05586	0.00777	-0.00186	0.001944	-0.00099	0.00226	0.000418	0.001091	-6.8498	-3.46929	-10.3614	-0.75008	0.365696
2300	0.007852	0.008438	-0.00358	0.018014	0.019713	-0.05586	0.00776	-0.0019	0.001908	-0.00099	0.002263	0.000422	0.001092	-6.92742	-3.64587	-9.58278	-0.16166	1.099889
2400	0.00785	0.008437	-0.00359	0.018108	0.019896	-0.05586	0.007716	-0.00194	0.001885	-0.00099	0.002266	0.000427	0.001093	-7.00922	-3.79893	-9.01153	0.472944	1.75206
2500	0.007875	0.008444	-0.00356	0.018306	0.020181	-0.05586	0.007664	-0.00198	0.001807	-0.00099	0.00227	0.000431	0.001094	-7.10354	-4.0048	-8.11705	1.185874	2.414234
2600	0.007877	0.008444	-0.00357	0.018451	0.020447	-0.05586	0.007619	-0.00202	0.001793	-0.001	0.002273	0.000436	0.001095	-7.235	-4.19705	-7.42992	1.908845	3.348479
2700	0.008626	0.008458	-0.00356	0.018613	0.020867	-0.05586	0.007597	-0.00205	0.001777	-0.001	0.002276	0.00044	0.001096	-7.36146	-4.40416	-6.54967	2.75432	4.230711
2800	0.008621	0.008458	-0.00357	0.018903	0.025015	-0.05586	0.007518	-0.0021	0.001682	-0.001	0.002279	0.000444	0.001097	-7.57389	-4.69295	-5.19777	3.951239	5.036923
2900	0.008598	0.008456	-0.00356	0.019018	0.029201	-0.05586	0.007479	-0.00211	0.001633	-0.001	0.002281	0.000449	0.001099	-7.74207	-4.96855	-4.49845	5.077869	6.303255
3000	0.008598	0.008455	-0.00356	0.01928	-0.05594	-0.05586	0.007407	-0.00215	0.001604	-0.001	0.002285	0.000454	0.0011	-7.95075	-5.28168	-3.14249	6.339052	7.19549
3100	0.008295	0.008455	-0.00354	0.019797	-0.05594	-0.05586	0.007329	-0.00216	0.001647	-0.00101	0.002288	0.000457	0.001102	-8.27794	-5.71322	-1.40638	8.260951	8.887934
3200	0.008257	0.008451	-0.00355	0.025042	-0.05594	-0.05586	0.00714	-0.00216	0.001457	-0.00101	0.00229	0.000461	0.001105	-8.81089	-6.42448	2.106513	11.43399	10.91447

Tabla D.11. Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-6A.

Fecha: 12.03.2015  
11:59:32  
Hora: a.m.

V-6A

P (UNID.)	Acero 1	Acero 2	Acero 3	Varilla 1	Varilla 2	Varilla 3	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	C. Carga 1	C. Carga 2	C. Carga 3	C. Carga 4	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	LVDT 4	LVDT 5
0	-0.054553	0.015084	-0.00367	-0.05586	0.010557	0.0082	0.009975	-7.6E-05	-0.0546	-0.00105	0.002319	0.000235	0.001039	-5.24804	-4.8093	-18.4057	-8.59432	-13.686
100	-0.054553	0.015159	-0.00361	-0.05586	0.010648	0.008302	0.01005	-9.2E-05	-0.0546	-0.00105	0.002322	0.00024	0.00104	-5.56438	-4.50895	-18.0967	-7.56007	-12.9918
200	-0.054553	0.015168	-0.00361	-0.05586	0.010664	0.008322	0.010046	-0.0001	-0.0546	-0.00105	0.002325	0.000248	0.001041	-5.60862	-4.47182	-17.8608	-7.22068	-12.6157
300	-0.054553	0.015192	-0.00359	-0.05586	0.010687	0.008351	0.010053	-0.00012	-0.0546	-0.00106	0.002327	0.000251	0.001043	-5.22926	-4.86582	-17.686	-6.96964	-12.1556
400	-0.054553	0.015195	-0.00358	-0.05586	0.010692	0.00837	0.010044	-0.00015	-0.0546	-0.00106	0.002329	0.000258	0.001045	-5.22967	-4.84601	-17.4685	-6.59008	-11.6615
500	-0.054553	0.015197	-0.00357	-0.05586	0.010703	0.008392	0.010044	-0.00016	-0.0546	-0.00106	0.002332	0.000265	0.001047	-5.26348	-4.81301	-17.2388	-6.2768	-11.2434
600	-0.054553	0.015214	-0.00356	-0.05586	0.010718	0.008412	0.010041	-0.00018	-0.0546	-0.00106	0.002333	0.00027	0.00105	-5.30605	-4.76969	-17.0843	-5.99765	-10.7992
700	-0.054553	0.015226	-0.00355	-0.05586	0.010731	0.008435	0.010033	-0.0002	-0.0546	-0.00106	0.002334	0.000276	0.001054	-5.33318	-4.74865	-16.8647	-5.7185	-10.3191
800	-0.054553	0.015237	-0.00354	-0.05586	0.010742	0.008457	0.010021	-0.00023	-0.0546	-0.00106	0.002336	0.000281	0.001058	-5.33735	-4.74906	-16.7163	-5.49157	-9.889
900	-0.054553	0.015279	-0.00349	-0.05586	0.010818	0.00853	0.010432	-0.00025	-0.0546	-0.00106	0.002339	0.000288	0.001059	-5.34403	-4.75071	-16.5293	-5.24455	-9.36886
1000	-0.054553	0.015292	-0.00347	-0.05586	0.010839	0.008558	0.010423	-0.00027	-0.0546	-0.00106	0.002342	0.000294	0.00106	-5.32566	-4.79403	-16.3931	-5.0377	-8.95075
1100	-0.054553	0.015305	-0.00346	-0.05586	0.010855	0.008599	0.01043	-0.0003	-0.0546	-0.00107	0.002343	0.000299	0.001064	-5.28769	-4.8621	-16.2609	-4.84893	-8.47863
1200	-0.054553	0.015325	-0.00346	-0.05586	0.010874	0.008591	0.010415	-0.00032	-0.0546	-0.00107	0.002345	0.000305	0.001066	-5.28476	-4.88975	-16.1044	-4.59388	-8.06852
1300	-0.054553	0.0154	-0.00341	-0.05586	0.010939	0.008689	0.010472	-0.00035	-0.0546	-0.00107	0.002348	0.000311	0.001068	-5.28727	-4.89841	-15.958	-4.37498	-7.71843
1400	-0.054553	0.015409	-0.00342	-0.05586	0.010981	0.008722	0.010486	-0.00037	-0.0546	-0.00107	0.002351	0.000317	0.00107	-5.3073	-4.90707	-15.7893	-4.16211	-7.31232
1500	-0.054553	0.015459	-0.0034	-0.05586	0.011222	0.008807	0.010481	-0.00041	-0.0546	-0.00107	0.002354	0.000323	0.001072	-5.34903	-4.96112	-15.5921	-3.75443	-6.69016
1600	-0.054553	0.015493	-0.00339	-0.05586	0.011423	0.0089	0.010481	-0.00045	-0.0546	-0.00107	0.002358	0.000329	0.001072	-5.38075	-5.01269	-15.2648	-3.37889	-6.22404
1700	-0.054553	0.015583	-0.00337	-0.05586	0.011673	0.009062	0.01051	-0.00051	-0.0546	-0.00107	0.002358	0.000334	0.001077	-5.42499	-5.10015	-14.8623	-2.8467	-5.60987
1800	-0.054553	0.01562	-0.00337	-0.05586	0.011831	0.009173	0.010497	-0.00053	-0.0546	-0.00107	0.002361	0.00034	0.001078	-5.48509	-5.1476	-14.5533	-2.5053	-5.15976
1900	-0.054553	0.015669	-0.00338	-0.05586	0.01202	0.009326	0.010463	-0.00058	-0.0546	-0.00108	0.002364	0.000345	0.00108	-5.58859	-5.21361	-14.1101	-2.03938	-4.46357
2000	-0.054553	0.015731	-0.0034	-0.05586	0.012225	0.0095	0.010437	-0.0007	-0.0546	-0.00108	0.002367	0.000351	0.001081	-5.66079	-5.33614	-13.6039	-1.51924	-3.76339
2100	-0.054553	0.015836	-0.00345	-0.05586	0.012513	0.009506	0.010086	-0.0008	-0.0546	-0.00108	0.002369	0.000354	0.001083	-5.7284	-5.4628	-13.1099	-0.97099	-3.17924
2200	-0.054553	0.015894	-0.00346	-0.05586	0.012693	0.009641	0.010028	-0.00088	-0.0546	-0.00108	0.002372	0.00036	0.001085	-5.79601	-5.57997	-12.563	-0.48299	-2.63309
2300	-0.054553	0.015953	-0.00346	-0.05586	0.012842	0.009774	0.009993	-0.00095	-0.0546	-0.00108	0.002377	0.000365	0.001084	-5.85569	-5.6959	-12.0304	0.025103	-2.02093
2400	-0.054553	0.016006	-0.00346	-0.05586	0.012985	0.00987	0.009952	-0.00101	-0.0546	-0.00108	0.00238	0.000369	0.001085	-5.91453	-5.81224	-11.5303	0.454869	-1.47079
2500	-0.054553	0.016119	-0.00337	-0.05586	0.013201	0.010125	0.010374	-0.00109	-0.0546	-0.00108	0.002383	0.000375	0.001087	-5.99258	-6.01852	-10.8595	1.195915	-0.35849
2600	-0.054553	0.016182	-0.00338	-0.05586	0.013339	0.01022	0.010352	-0.00115	-0.0546	-0.00108	0.002385	0.00038	0.001089	-6.06478	-6.13734	-10.3492	1.637731	0.055615
2700	-0.054553	0.016271	-0.00338	-0.05586	0.013501	0.010244	0.010319	-0.00121	-0.0546	-0.00109	0.002388	0.000385	0.001091	-6.12946	-6.31598	-9.8308	2.264306	0.825817
2800	-0.054553	0.016341	-0.00338	-0.05586	0.01368	0.01039	0.010285	-0.00128	-0.0546	-0.00109	0.002391	0.00039	0.001092	-6.21878	-6.46945	-9.28801	2.878831	1.481989
2900	-0.054553	0.016416	-0.00336	-0.05586	0.013935	0.01047	0.010589	-0.00136	-0.0546	-0.00109	0.002393	0.000395	0.001095	-6.30099	-6.62746	-8.62121	3.521473	2.106153
3000	-0.054553	0.016493	-0.00336	-0.05586	0.014182	0.01057	0.010559	-0.00142	-0.0546	-0.00109	0.002396	0.000399	0.001096	-6.39823	-6.76856	-8.0459	4.12194	2.700309
3100	-0.054553	0.016587	-0.00337	-0.05586	0.015054	0.0107	0.010515	-0.0015	-0.0546	-0.00109	0.002399	0.000405	0.001097	-6.513	-6.9307	-7.41162	4.838887	3.4285
3200	-0.054553	0.016704	-0.00336	-0.05586	0.020769	0.010813	0.010472	-0.00159	-0.0546	-0.00109	0.002402	0.00041	0.001098	-6.66408	-7.14606	-6.64928	5.758667	4.276723
3300	-0.054553	0.016847	-0.00333	-0.05586	0.023081	0.01108	0.011625	-0.00171	-0.0546	-0.00109	0.002405	0.000416	0.0011	-6.87734	-7.4167	-5.50271	7.092147	5.148952
3400	-0.054553	0.017009	-0.00332	-0.05586	0.020546	0.011284	0.011565	-0.00181	-0.0546	-0.00109	0.002407	0.000419	0.001103	-7.12608	-7.70054	-4.7302	8.568214	6.553321
3500	-0.054553	0.017211	-0.00329	-0.05586	0.01543	0.011562	0.011489	-0.00204	-0.0546	-0.0011	0.002409	0.000423	0.001105	-7.44326	-8.0834	-3.421	10.60458	7.979696
3600	-0.054553	0.017666	-0.00326	-0.05586	0.014986	0.011832	0.011342	-0.05461	-0.0546	-0.0011	0.00241	0.000426	0.00111	-8.02879	-8.62056	-1.04045	14.37207	10.60439

Tabla D.12. Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-6B.

Fecha:	20-03.2015			V-6B		Hora:		10:29:12		a.m.								
P (UNID.)	Acero 1	Acero 2	Acero 3	Varilla 1	Varilla 2	Varilla 3	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	C. Carga 1	C. Carga 2	C. Carga 3	C. Carga 4	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	LVDT 4	LVDT 5
0	0.015733	0.016563	-0.01428	0.007469	0.01276	0.000577	0.009392	0.002403	-0.0546	-0.00131	0.002672	0.000229	0.001054	-4.92001	-4.59064	-10.709	-18.1215	-13.874
100	0.015738	0.016618	-0.01429	0.00752	0.012786	0.000586	0.009395	0.00228	-0.0546	-0.00131	0.002675	0.000234	0.001055	-4.82318	-4.69667	-10.1988	-17.8323	-13.4439
200	0.015765	0.016656	-0.01428	0.007552	0.012814	0.000615	0.009398	0.002104	-0.0546	-0.00131	0.002677	0.000239	0.001056	-4.8044	-4.70904	-9.83283	-17.3242	-13.0298
300	0.015787	0.016673	-0.01427	0.007572	0.012835	0.000631	0.009397	0.001931	-0.0546	-0.00131	0.002679	0.000243	0.001059	-4.80565	-4.70162	-9.58278	-16.9687	-12.6637
400	0.015793	0.016678	-0.01428	0.007577	0.012838	0.000653	0.009371	0.001789	-0.0546	-0.00131	0.002682	0.000249	0.00106	-4.82652	-4.6418	-9.349	-16.6173	-12.3096
500	0.015808	0.016689	-0.01425	0.007618	0.012857	0.000686	0.009369	0.001716	-0.0546	-0.00132	0.002684	0.000255	0.001063	-4.87744	-4.59518	-9.1823	-16.3321	-11.9996
600	0.015815	0.016695	-0.01422	0.007633	0.01287	0.000709	0.00936	0.00164	-0.0546	-0.00132	0.002687	0.000261	0.001064	-4.92501	-4.55227	-8.96884	-16.065	-11.6955
700	0.015831	0.016713	-0.01421	0.007625	0.012889	0.000753	0.009355	0.001586	-0.0546	-0.00132	0.00269	0.000266	0.001065	-4.97718	-4.49534	-8.79604	-15.7939	-11.3794
800	0.015844	0.016713	-0.01423	0.007642	0.012907	0.000791	0.00934	0.001544	-0.0546	-0.00132	0.002693	0.000273	0.001066	-4.9993	-4.47718	-8.67	-15.565	-11.1753
900	0.015855	0.016761	-0.0142	0.007666	0.012941	0.000846	0.00934	0.001523	-0.0546	-0.00132	0.002696	0.00028	0.001067	-5.02518	-4.46439	-8.55209	-15.3119	-10.8352
1000	0.015868	0.016779	-0.0142	0.007693	0.012969	0.0009	0.009328	0.001476	-0.0546	-0.00132	0.002699	0.000287	0.001068	-5.03394	-4.45944	-8.39556	-15.0488	-10.5052
1100	0.016045	0.016789	-0.01416	0.007736	0.013002	0.000906	0.009368	0.001446	-0.0546	-0.00132	0.002703	0.000293	0.001068	-5.03436	-4.46769	-8.35693	-15.0649	-10.5112
1200	0.016232	0.016812	-0.01413	0.007773	0.013065	0.001013	0.00933	0.001352	-0.0546	-0.00132	0.002705	0.000297	0.001072	-5.1341	-4.43263	-8.09062	-14.6472	-9.73896
1300	0.016201	0.016834	-0.01387	0.007786	0.013103	0.000808	0.00934	0.001318	-0.0546	-0.00132	0.002707	0.000301	0.001074	-5.17333	-4.42231	-7.96458	-14.4343	-9.23082
1400	0.016245	0.016869	-0.01383	0.007841	0.013179	0.000884	0.00934	0.00129	-0.0546	-0.00132	0.00271	0.00031	0.001076	-5.24386	-4.39921	-7.83244	-14.1953	-8.7487
1500	0.016271	0.016919	-0.01375	0.007887	0.013335	0.000871	0.009348	0.001249	-0.0546	-0.00133	0.002712	0.000312	0.001079	-5.30605	-4.39013	-7.60069	-13.9242	-8.3606
1600	0.016282	0.016946	-0.01372	0.007905	0.013414	0.000986	0.009335	0.001196	-0.0546	-0.00133	0.002715	0.000318	0.00108	-5.40538	-4.38188	-7.45635	-13.5989	-7.80845
1700	0.016053	0.016998	-0.01369	0.00795	0.013531	0.001151	0.009337	0.001183	-0.0546	-0.00133	0.002718	0.000324	0.001082	-5.51263	-4.3794	-7.1941	-13.2374	-7.27631
1800	0.016075	0.017029	-0.0137	0.007972	0.013686	0.001313	0.009306	0.001157	-0.0546	-0.00133	0.002721	0.000328	0.001083	-5.58608	-4.41035	-6.87087	-12.8759	-6.69016
1900	0.016049	0.016987	-0.01361	0.008069	0.01379	0.001493	0.00929	0.001155	-0.0546	-0.00133	0.002724	0.000334	0.001085	-5.67957	-4.47017	-6.39313	-12.4582	-6.19403
2000	0.016108	0.017042	-0.01359	0.008169	0.01396	0.001667	0.009257	0.001121	-0.0546	-0.00133	0.002727	0.000338	0.001085	-5.7718	-4.51968	-5.84831	-12.0646	-5.67589
2100	0.016412	0.017088	-0.0136	0.00844	0.014185	0.001804	0.009209	0.001061	-0.0546	-0.00133	0.00273	0.000344	0.001087	-5.90118	-4.60095	-5.18354	-11.5063	-5.05373
2200	0.016437	0.017128	-0.0136	0.008637	0.014344	0.001962	0.00919	0.001041	-0.0546	-0.00133	0.002733	0.000351	0.001089	-5.98965	-4.69254	-4.74646	-11.0203	-4.51959
2300	0.016522	0.017253	-0.01354	0.0088	0.014491	0.002192	0.009178	0.001034	-0.0546	-0.00133	0.002737	0.000356	0.001091	-6.10568	-4.77175	-4.18335	-10.6086	-4.02946
2400	0.016555	0.01731	-0.01353	0.008835	0.014702	0.002326	0.009143	0.000983	-0.0546	-0.00134	0.002739	0.000362	0.001092	-6.24048	-4.87572	-3.64665	-10.0383	-3.34328
2500	0.016597	0.017351	-0.01352	0.008994	0.014857	0.002432	0.009113	0.000961	-0.0546	-0.00134	0.002743	0.000368	0.001092	-6.3085	-4.95452	-3.16587	-9.66472	-3.00219
2600	0.016639	0.017391	-0.01351	0.009153	0.015013	0.002538	0.009084	0.000938	-0.0546	-0.00134	0.002747	0.000374	0.001093	-6.37653	-5.03332	-2.68508	-9.29119	-2.6611
2700	0.01665	0.017484	-0.0134	0.009219	0.015233	0.002751	0.009056	0.000859	-0.0546	-0.00134	0.00275	0.00038	0.001093	-6.49234	-5.17833	-2.15347	-8.61641	-1.85589
2800	0.016661	0.017578	-0.01328	0.009286	0.015454	0.002964	0.009028	0.00078	-0.0546	-0.00134	0.002752	0.000386	0.001095	-6.60816	-5.32335	-1.62186	-7.94164	-1.05068
2900	0.016719	0.017642	-0.01328	0.009362	0.015605	0.003092	0.008992	0.000734	-0.0546	-0.00134	0.002756	0.000391	0.001095	-6.70081	-5.45991	-1.0994	-7.36326	-0.44652
3000	0.016738	0.017743	-0.01179	0.009478	0.015757	0.003227	0.008956	0.000701	-0.0546	-0.00134	0.002759	0.000397	0.001097	-6.79513	-5.5878	-0.53019	-6.75476	0.147639
3100	0.01674	0.01774	-0.0118	0.009606	0.016122	0.003381	0.008932	0.000697	-0.0546	-0.00134	0.002763	0.000402	0.001097	-6.92909	-5.77098	0.39276	-5.88519	0.869828
3200	0.016835	0.01785	-0.01182	0.00975	0.01657	0.004016	0.008885	0.000633	-0.0546	-0.00134	0.002765	0.000405	0.001101	-7.06682	-5.9587	1.207962	-4.96139	1.536003
3300	0.016993	0.018047	-0.01177	0.009879	0.01788	0.007519	0.008869	0.000638	-0.0546	-0.00134	0.002768	0.000411	0.001101	-7.18576	-6.14105	1.848332	-4.06973	2.292202
3400	0.017198	0.018253	-0.01283	0.010018	0.020895	0.012976	0.008822	0.000612	-0.0546	-0.00135	0.002769	0.000414	0.001106	-7.37273	-6.40509	2.750949	-2.72018	3.146426
3500	0.01736	0.018501	-0.01277	0.010322	0.023278	0.014403	0.008788	0.00066	-0.0546	-0.00135	0.002773	0.000417	0.001106	-7.70201	-6.85974	4.28987	-0.2199	4.862877
3600	0.017442	0.019028	-0.01273	0.010576	0.016853	0.015326	0.008744	0.000704	-0.0546	-0.00135	0.002775	0.00042	0.00111	-8.10015	-7.28097	5.686487	2.348653	6.709362
3700	0.015829	0.017286	-0.01444	0.010574	0.016878	0.015504	0.008735	0.000697	-0.0546	-0.00135	0.002778	0.000425	0.001111	-8.50331	-7.70178	6.119499	4.842903	10.06024

Tabla D.13. Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-7A.

Fecha: 03-02.2015  
02:26:38  
Hora: p.m.

V-7A

P (UNID.)	Acero 1	Acero 2	Acero 3	Varilla 1	Varilla 2	Varilla 3	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	C. Carga 1	C. Carga 2	C. Carga 3	C. Carga 4	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	LVDT 4	LVDT 5
0	0.009346	0.014651	-0.02604	0.005993	0.002922	-0.05586	0.008528	-0.05459	0.000151	0.000729	-0.00165	0.000271	-0.00254	5.556537	-6.59446	-11.7153	-20.0936	-12.9058
100	0.009366	0.014702	-0.02604	0.006038	0.002966	-0.05586	0.008497	-0.05459	0.000144	0.000731	-0.00165	0.000278	-0.00254	5.556119	-6.61426	-11.1095	-19.3807	-12.4997
200	0.009377	0.014687	-0.02603	0.006082	0.002988	-0.05586	0.008479	-0.05459	0.000133	0.000732	-0.00165	0.000286	-0.00254	5.569474	-6.60601	-10.7354	-18.8926	-12.1236
300	0.00938	0.014674	-0.02601	0.006112	0.003019	-0.05586	0.00845	-0.05459	0.000116	0.000733	-0.00165	0.000293	-0.00254	5.60787	-6.56228	-10.3695	-18.4709	-11.7055
400	0.009398	0.014691	-0.026	0.006147	0.003048	-0.05586	0.008436	-0.05459	0.000103	0.000735	-0.00166	0.000298	-0.00255	5.65962	-6.51648	-10.0829	-18.011	-11.3334
500	0.009411	0.014799	-0.026	0.006183	0.003094	-0.05586	0.008427	-0.05459	0.000089	0.000737	-0.00166	0.000303	-0.00255	5.704276	-6.48265	-9.8064	-17.6094	-11.0153
600	0.00942	0.014833	-0.02602	0.006217	0.003129	-0.05586	0.00841	-0.05459	0.000077	0.000738	-0.00166	0.000311	-0.00255	5.751853	-6.43521	-9.59701	-17.1816	-10.6432
700	0.009461	0.014844	-0.02609	0.006277	0.003211	-0.05586	0.008418	-0.05459	0.000075	0.000741	-0.00167	0.000313	-0.00255	5.749349	-6.43356	-9.3429	-16.778	-10.3311
800	0.009471	0.014859	-0.02614	0.006303	0.003269	-0.05586	0.008414	-0.05459	0.000048	0.000742	-0.00168	0.000319	-0.00255	5.755609	-6.43191	-9.09692	-16.3723	-10.059
900	0.009472	0.014863	-0.02616	0.006329	0.003342	-0.05586	0.008383	-0.05459	0.000029	0.000744	-0.00168	0.000323	-0.00255	5.75227	-6.45047	-8.87329	-15.8582	-9.72896
1000	0.009485	0.014927	-0.0307	0.006363	0.003459	-0.05586	0.008371	-0.05459	-1.9E-05	0.000745	-0.00168	0.000329	-0.00256	5.769798	-6.46533	-8.62324	-15.3059	-9.37486
1100	0.009514	0.015122	-0.03064	0.006431	0.003572	-0.05586	0.008364	-0.05459	-0.00004	0.000748	-0.00169	0.000332	-0.00256	5.800682	-6.48926	-8.32644	-14.6753	-9.06478
1200	0.00953	0.015208	-0.03026	0.006814	0.003959	-0.05586	0.008199	-0.05459	-6.9E-05	0.00075	-0.00169	0.000336	-0.00256	5.888741	-6.55197	-7.53563	-13.9724	-8.7487
1300	0.009559	0.015184	-0.03027	0.007071	0.004447	-0.05586	0.008106	-0.05459	-8.8E-05	0.00075	-0.0017	0.000344	-0.00256	6.008101	-6.63572	-6.54763	-13.1611	-8.16254
1400	0.009581	0.015257	-0.02994	0.007316	0.004956	-0.05586	0.008073	-0.05459	-0.00011	0.00075	-0.0017	0.000352	-0.00256	6.075293	-6.77186	-5.65315	-12.3477	-7.38834
1500	0.009593	0.01529	-0.02997	0.007574	0.005326	-0.05586	0.008017	-0.05459	-0.00018	0.00075	-0.00171	0.00036	-0.00256	6.210512	-6.87335	-4.92333	-11.4942	-6.50611
1600	0.009604	0.015371	-0.03	0.007826	0.005839	-0.05586	0.00797	-0.05459	-0.0002	0.00075	-0.00171	0.000366	-0.00256	6.389134	-7.04003	-3.98615	-10.3475	-5.52185
1700	0.009696	0.015353	-0.0546	0.008329	0.006101	-0.05586	0.007866	-0.05459	-0.00022	0.000752	-0.00172	0.00037	-0.00256	6.61909	-7.27148	-2.7786	-8.71482	-4.1715
1800	0.009714	0.015506	-0.0546	0.008639	0.006404	-0.05586	0.007799	-0.05459	-0.00024	0.000752	-0.00173	0.000377	-0.00256	6.821501	-7.49962	-1.77027	-7.29097	-2.87716
1900	0.009877	0.015671	-0.00981	0.00897	0.009998	-0.05586	0.007799	-0.05459	-0.00025	0.000753	-0.00173	0.000383	-0.00256	7.086096	-7.73726	-0.60744	-5.69039	-1.40277
2000	0.00989	0.015903	-0.00938	0.009297	0.012662	-0.05586	0.007722	-0.05459	-0.00031	0.000754	-0.00173	0.000388	-0.00257	7.342344	-8.13415	0.862365	-3.74238	0.199652
2100	0.009747	0.02219	-0.00842	0.009587	0.013423	-0.05586	0.008131	-0.05459	-0.00038	0.000754	-0.00174	0.000398	-0.00257	7.554354	-8.63871	2.675731	-1.50719	2.038135
2200	0.009763	0.026859	-0.00831	0.009876	0.013824	-0.05586	0.008053	-0.05459	-0.00044	0.000755	-0.00174	0.000403	-0.00257	7.7889	-9.28726	4.663927	1.304361	4.156692
2300	0.00987	0.028858	-0.00781	0.016213	0.017155	-0.05586	0.007742	-0.05459	-0.00065	0.00076	-0.00174	0.000403	-0.00257	8.388621	-9.75222	10.27479	7.578145	8.52784

Tabla D.14. Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-7B.

Fecha: 05-02.2015  
10:42:25  
Hora: a.m.

V-7B

P (UNID.)	Acero 1	Acero 2	Acero 3	Varilla 1	Varilla 2	Varilla 3	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	C. Carga 1	C. Carga 2	C. Carga 3	C. Carga 4	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	LVDT 4	LVDT 5
0	0.008882	0.015588	-0.00655	0.005923	0.008096	-0.05586	0.007648	-0.05459	0.00064	0.000693	-0.0017	0.000264	0.001054	5.769381	-6.69017	-12.5752	-17.9186	-16.4127
100	0.008855	0.015593	-0.00654	0.005948	0.008102	-0.05586	0.007627	-0.05459	0.000631	0.000695	-0.00171	0.00027	0.001055	5.916285	-6.50803	-12.1697	-17.5331	-16.0706
200	0.008828	0.015598	-0.00653	0.005974	0.008108	-0.05586	0.007606	-0.05459	0.000621	0.000697	-0.00171	0.000276	0.001056	6.06319	-6.32588	-11.7641	-17.1475	-15.7285
300	0.008807	0.015608	-0.00653	0.006007	0.008118	-0.05586	0.007574	-0.05459	0.000612	0.000698	-0.00171	0.000284	0.001057	6.115566	-6.25513	-11.3829	-16.778	-15.3664
400	0.008787	0.015618	-0.00652	0.00604	0.008128	-0.05586	0.007542	-0.05459	0.000603	0.000698	-0.00172	0.000291	0.001058	6.167943	-6.18437	-11.0018	-16.4084	-15.0043
500	0.008757	0.015628	-0.00651	0.006066	0.008141	-0.05586	0.007513	-0.05459	0.000593	0.000699	-0.00172	0.000299	0.001059	6.239934	-6.12867	-10.7771	-16.1454	-14.7523
600	0.008727	0.015638	-0.0065	0.006092	0.008154	-0.05586	0.007484	-0.05459	0.000582	0.000699	-0.00173	0.000307	0.00106	6.311926	-6.07298	-10.5525	-15.8823	-14.5002
700	0.008683	0.015649	-0.00649	0.006123	0.008173	-0.05586	0.007444	-0.05459	0.000576	0.000701	-0.00173	0.000312	0.001062	6.379327	-6.0278	-10.2699	-15.6202	-14.2251
800	0.008639	0.01566	-0.00649	0.006154	0.008192	-0.05586	0.007405	-0.05459	0.000569	0.000702	-0.00173	0.000316	0.001063	6.446728	-5.98263	-9.98733	-15.3581	-13.9501
900	0.00858	0.015679	-0.00648	0.006192	0.008215	-0.05586	0.007347	-0.05459	0.000564	0.000704	-0.00174	0.00032	0.001064	6.494931	-5.95602	-9.55432	-15.0981	-13.711
1000	0.008522	0.015698	-0.00647	0.006229	0.008238	-0.05586	0.00729	-0.05459	0.000559	0.000705	-0.00175	0.000324	0.001065	6.543134	-5.92941	-9.12131	-14.838	-13.4719
1100	0.008386	0.015729	-0.00645	0.006311	0.008278	-0.05586	0.007226	-0.05459	0.000553	0.000706	-0.00175	0.000331	0.001066	6.630984	-5.91002	-8.54904	-14.5046	-13.1919
1200	0.00825	0.015761	-0.00643	0.006393	0.008318	-0.05586	0.007162	-0.05459	0.000548	0.000707	-0.00176	0.000336	0.001067	6.718835	-5.89063	-7.97678	-14.1712	-12.9118
1300	0.008234	0.015793	-0.00642	0.006502	0.008472	-0.05586	0.007121	-0.05459	0.000539	0.000708	-0.00176	0.000342	0.001069	6.814406	-5.91435	-7.25509	-13.9353	-12.6417
1400	0.008217	0.015825	-0.00641	0.00661	0.008626	-0.05586	0.007081	-0.05459	0.00053	0.000709	-0.00176	0.000347	0.00107	6.909977	-5.93807	-6.5334	-13.6993	-12.3716
1500	0.008033	0.015907	-0.00637	0.007175	0.009065	-0.05586	0.00693	-0.05459	0.000509	0.00071	-0.00177	0.000354	0.001071	7.108006	-5.97273	-5.35634	-13.0326	-11.8345
1600	0.007848	0.015989	-0.00632	0.007739	0.009503	-0.05586	0.00678	-0.05459	0.000488	0.00071	-0.00177	0.000362	0.001072	7.306035	-6.00738	-4.17928	-12.3658	-11.2974
1700	0.00776	0.016058	-0.00624	0.008069	0.009758	-0.05586	0.006717	-0.05459	0.000462	0.000712	-0.00178	0.000366	0.001074	7.561448	-6.0967	-2.97782	-11.4129	-10.3111
1800	0.007672	0.016127	-0.00616	0.008399	0.010013	-0.05586	0.006655	-0.05459	0.000435	0.000713	-0.00178	0.000371	0.001075	7.816862	-6.18602	-1.77637	-10.46	-9.32485
1900	0.007599	0.016359	-0.00601	0.008824	0.010817	-0.05586	0.006541	-0.05459	0.000371	0.000714	-0.00179	0.000375	0.001075	8.490452	-6.46265	0.337872	-7.75186	-6.74117
2000	0.007525	0.016592	-0.00586	0.009249	0.011621	-0.05586	0.006428	-0.05459	0.000307	0.000714	-0.0018	0.000378	0.001075	9.164043	-6.73927	2.452109	-5.04373	-4.15749
2100	0.007638	0.016785	-0.00574	0.012009	0.017685	-0.05586	0.006295	-0.05459	0.000167	0.000716	-0.0018	0.000382	0.001076	9.602252	-7.14193	4.633433	-2.03637	-1.5228
2200	0.00775	0.016979	-0.00563	0.01477	0.02375	-0.05586	0.006162	-0.05459	0.000027	0.000717	-0.00181	0.000387	0.001077	10.04046	-7.54459	6.814758	0.970991	1.111892
2300	0.007604	0.017172	-0.0056	0.019229	0.023969	-0.05586	0.005995	-0.05459	0.000053	0.00072	-0.00181	0.000392	0.00108	10.04338	-8.07309	8.835481	3.445159	2.858351

Tabla D.15. Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-8B.

Fecha: 09-02.2015  
11:05:10  
Hora: a.m.

V-8B

P (UNID.)	Acero 1	Acero 2	Acero 3	Varilla 1	Varilla 2	Varilla 3	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	C. Carga 1	C. Carga 2	C. Carga 3	C. Carga 4	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	LVDT 4	LVDT 5
0	0.016686	-0.05462	-0.01898	0.063385	0.013352	-0.05586	0.009154	-0.05459	0.000261	0.000669	-0.00184	0.000282	0.005292	5.140446	-8.36106	-14.2646	-18.495	-10.2871
100	0.01673	-0.05462	-0.01894	0.063385	0.013384	-0.05586	0.00914	-0.05459	0.000234	0.00067	-0.00184	0.000288	0.005293	4.941791	-8.54217	-13.4779	-17.6154	-10.2811
200	0.01674	-0.05462	-0.01885	0.063385	0.013391	-0.05586	0.009113	-0.05459	0.00022	0.000672	-0.00185	0.000293	0.005294	5.054474	-8.3953	-12.7643	-16.8663	-10.2871
300	0.016771	-0.05462	-0.01887	0.063385	0.013419	-0.05586	0.0091	-0.05459	0.000195	0.000674	-0.00185	0.000299	0.005295	5.136273	-8.3033	-12.3191	-16.306	-10.3871
400	0.016789	-0.05462	-0.01884	0.063385	0.01343	-0.05586	0.009078	-0.05459	0.000171	0.000676	-0.00186	0.000304	0.005296	5.228923	-8.20346	-11.9735	-15.8562	-10.051
500	0.0168	-0.05462	-0.01882	0.063385	0.013455	-0.05586	0.009064	-0.05459	0.000403	0.000677	-0.00186	0.000309	0.005296	5.378331	-8.04916	-11.6747	-15.4485	-9.69695
600	0.016842	-0.05462	-0.01877	0.063385	0.013499	-0.05586	0.009077	-0.05459	0.000621	0.000678	-0.00187	0.000314	0.005297	5.570726	-7.85897	-11.4083	-15.085	-9.35886
700	0.016859	-0.05462	-0.01869	0.063385	0.013525	-0.05586	0.00906	-0.05459	0.000394	0.000681	-0.00187	0.000321	0.0053	5.660872	-7.78017	-11.1542	-14.7034	-9.03877
800	0.016875	-0.05462	-0.01863	0.063385	0.013535	-0.05586	0.00904	-0.05459	0.000293	0.000683	-0.00188	0.000326	0.005301	5.725143	-7.73602	-10.9001	-14.3359	-8.67868
900	0.017405	-0.05462	-0.01859	0.063385	0.013572	-0.05586	0.009028	-0.05459	0.000459	0.000684	-0.00188	0.000332	0.005302	5.835738	-7.66712	-10.6379	-13.9503	-8.32859
1000	0.017427	-0.05462	-0.01859	0.063385	0.013598	-0.05586	0.009006	-0.05459	0.000406	0.000685	-0.00189	0.000338	0.005304	5.859527	-7.66671	-10.3085	-13.4824	-7.96449
1100	0.017455	-0.05462	-0.01857	0.063385	0.013641	-0.05586	0.008997	-0.05459	0.000176	0.000686	-0.0019	0.000344	0.005305	5.941326	-7.65599	-9.91618	-13.0386	-7.5984
1200	0.017475	-0.05462	-0.01855	0.063385	0.013693	-0.05586	0.00897	-0.05459	0.000128	0.000687	-0.0019	0.000349	0.005306	5.996833	-7.66135	-9.48317	-12.5345	-7.19029
1300	0.017455	-0.05462	-0.01839	0.063385	0.013794	-0.05586	0.008952	-0.05459	0.000117	0.000688	-0.00191	0.000354	0.005307	6.07571	-7.67496	-8.99324	-11.932	-6.67415
1400	0.017505	-0.05462	-0.01836	0.063385	0.013977	-0.05586	0.008838	-0.05459	0.000038	0.000689	-0.00191	0.000361	0.005308	6.13706	-7.74469	-8.22886	-11.201	-6.16602
1500	0.017404	-0.05462	-0.01827	0.063385	0.014193	-0.05586	0.008802	-0.05459	0.00311	0.00069	-0.00192	0.000366	0.00531	6.248907	-7.80575	-7.48887	-10.4279	-5.53986
1600	0.017446	-0.05462	-0.01819	0.063385	0.0144	-0.05586	0.008752	-0.05459	0.003031	0.000692	-0.00192	0.000372	0.005311	6.386213	-7.86887	-6.70417	-9.47394	-4.78966
1700	0.017549	-0.05462	-0.01817	0.063385	0.01457	-0.05586	0.00871	-0.05459	0.001222	0.000693	-0.00192	0.000377	0.005312	6.535621	-7.97242	-5.82391	-8.45977	-4.03346
1800	0.017613	-0.05462	-0.01809	0.063385	0.014807	-0.05586	0.00867	-0.05459	0.00118	0.000693	-0.00193	0.000382	0.005313	6.649556	-8.10114	-4.91113	-7.49782	-3.30927
1900	0.017898	-0.05462	-0.01789	0.063385	0.015031	-0.05586	0.00862	-0.05459	0.000383	0.000694	-0.00193	0.00039	0.005315	6.795208	-8.25173	-3.99428	-6.33504	-2.31501
2000	0.017956	-0.05462	-0.01788	0.063385	0.015241	-0.05586	0.008569	-0.05459	0.000342	0.000695	-0.00194	0.000394	0.005316	6.954633	-8.37632	-3.02458	-5.30279	-1.61683
2100	0.018102	-0.05462	-0.01777	0.063385	0.01545	-0.05586	0.008517	-0.05459	0.000654	0.000697	-0.00194	0.0004	0.005317	7.157461	-8.49968	-1.98779	-4.07374	-0.66458
2200	0.018157	-0.05462	-0.01764	0.063385	0.015628	-0.05586	0.008465	-0.05459	0.000637	0.000698	-0.00195	0.000405	0.005319	7.387834	-8.60571	-1.19495	-2.91096	0.357694

Tabla D.16. Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-9A.

Fecha: 10-02.2015  
10:38:22  
Hora: a.m.

V-9A

P (UNID.)	Acero 1	Acero 2	Acero 3	Varilla 1	Varilla 2	Varilla 3	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	C. Carga 1	C. Carga 2	C. Carga 3	C. Carga 4	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	LVDT 4	LVDT 5
0	0.007877	0.006682	-0.02213	0.00948	0.037535	-0.05586	0.008831	-0.05459	0.000043	0.000671	-0.00187	0.000279	0.001053	6.699637	-7.40803	-13.4616	-19.6899	-11.8655
100	0.007938	0.00674	-0.02205	0.009524	0.03757	-0.05586	0.008824	-0.05459	0.000016	0.000673	-0.00187	0.000283	0.001054	6.426695	-7.71044	-12.8029	-18.6758	-11.3674
200	0.007998	0.006781	-0.02205	0.009567	0.03758	-0.05586	0.008813	-0.05459	0.000004	0.000674	-0.00187	0.000287	0.001054	6.421687	-7.67414	-12.3211	-18.0231	-10.9893
300	0.008358	0.006842	-0.02203	0.009606	0.037588	-0.05586	0.008815	-0.05459	-7E-06	0.000676	-0.00188	0.000291	0.001055	6.501399	-7.57801	-11.943	-17.3764	-10.5972
400	0.008495	0.006959	-0.022	0.009643	0.037596	-0.05586	0.008791	-0.05459	-2.4E-05	0.000677	-0.00188	0.000296	0.001056	6.635366	-7.42577	-11.5832	-16.8021	-10.2091
500	0.008381	0.006959	-0.02193	0.009711	0.037654	-0.05586	0.00882	-0.05459	-4.7E-05	0.000678	-0.00188	0.0003	0.001056	6.738867	-7.33996	-11.2498	-16.2719	-9.85699
600	0.008562	0.00702	-0.02195	0.009761	0.03769	-0.05586	0.008815	-0.05459	-6.7E-05	0.000679	-0.00189	0.000306	0.001057	6.77768	-7.30448	-10.9408	-15.7638	-9.5249
700	0.008569	0.007079	-0.02191	0.009783	0.037717	-0.05586	0.0088	-0.05459	-4.7E-05	0.00068	-0.00189	0.000311	0.001059	6.801886	-7.28798	-10.7111	-15.2939	-9.20082
800	0.008576	0.007131	-0.02191	0.009815	0.037752	-0.05586	0.008793	-0.05459	-6.5E-05	0.000682	-0.00189	0.000316	0.00106	6.814406	-7.28385	-10.4712	-14.834	-8.90674
900	0.008617	0.00722	-0.02186	0.009879	0.037825	-0.05586	0.008817	-0.05459	-8.3E-05	0.000683	-0.0019	0.000321	0.001061	6.830682	-7.28963	-10.2821	-14.4062	-8.57065
1000	0.008616	0.007277	-0.02183	0.009909	0.037862	-0.05586	0.008811	-0.05459	-0.00011	0.000683	-0.0019	0.000327	0.001062	6.85781	-7.30489	-9.99953	-13.9564	-8.21456
1100	0.008722	0.007459	-0.02184	0.009994	0.037948	-0.05586	0.008829	-0.05459	-0.00016	0.000684	-0.00191	0.000331	0.001063	6.872417	-7.32593	-9.76575	-13.5065	-7.81045
1200	0.008736	0.007549	-0.02177	0.010026	0.038034	-0.05586	0.008818	-0.05459	-0.00018	0.000685	-0.00191	0.000336	0.001064	6.941695	-7.34326	-9.43641	-12.9723	-7.34433
1300	0.008691	0.007696	-0.02177	0.0101	0.038191	-0.05586	0.008842	-0.05459	-0.00018	0.000686	-0.00192	0.00034	0.001064	7.01014	-7.36183	-9.10098	-12.4261	-6.88621
1400	0.008706	0.007783	-0.02173	0.010157	0.038308	-0.05586	0.008804	-0.05459	-0.0002	0.000687	-0.00192	0.000347	0.001066	7.08067	-7.38039	-8.71066	-11.8658	-6.33206
1500	0.008765	0.007981	-0.02167	0.010257	0.03848	-0.05586	0.0088	-0.05459	-0.0002	0.000688	-0.00192	0.00035	0.001067	7.168312	-7.40267	-8.3366	-11.2573	-5.7019
1600	0.008781	0.008076	-0.02168	0.01034	0.038612	-0.05586	0.008761	-0.05459	-0.00023	0.00069	-0.00193	0.000357	0.001069	7.285168	-7.42165	-7.85277	-10.6568	-5.02172
1700	0.008828	0.008118	-0.02169	0.010446	0.038759	-0.05586	0.00877	-0.05459	-0.00022	0.000691	-0.00194	0.000363	0.00107	7.417048	-7.44888	-7.37503	-9.99006	-4.37955
1800	0.00889	0.008197	-0.02165	0.010561	0.038971	-0.05586	0.008723	-0.05459	-0.00024	0.000692	-0.00195	0.000369	0.001071	7.57856	-7.53263	-6.7123	-8.96183	-3.63536
1900	0.008909	0.008233	-0.02152	0.010705	0.039241	-0.05586	0.008661	-0.05459	-0.0003	0.000692	-0.00196	0.000374	0.001071	7.709188	-7.59616	-6.03534	-8.13845	-2.91917
2000	0.009	0.008312	-0.0215	0.010818	0.039441	-0.05586	0.008634	-0.05459	-0.00031	0.000694	-0.00196	0.000381	0.001073	7.862352	-7.66259	-5.3909	-7.299	-2.22899
2100	0.009074	0.008417	-0.02153	0.010933	0.039636	-0.05586	0.008598	-0.05459	-0.00032	0.000695	-0.00197	0.000387	0.001074	8.013013	-7.73355	-4.68751	-6.40332	-1.5268
2200	0.00909	0.008491	-0.0215	0.011039	0.039785	-0.05586	0.008542	-0.05459	-0.00035	0.000695	-0.00197	0.000393	0.001075	8.167847	-7.79956	-4.00851	-5.54378	-0.80261
2300	0.009113	0.008579	-0.02139	0.011165	0.039986	-0.05586	0.008508	-0.05459	-0.00032	0.000697	-0.00198	0.0004	0.001076	8.309326	-7.89734	-3.31122	-4.61396	0.0016
2400	0.009138	0.008671	-0.02133	0.011267	0.040145	-0.05586	0.008465	-0.05459	-0.00035	0.000698	-0.00199	0.000406	0.001077	8.49713	-8.00501	-2.59563	-3.59578	0.893835
2500	0.009133	0.008987	-0.02136	0.011375	0.04033	-0.05586	0.008418	-0.05459	-0.00042	0.000699	-0.00199	0.000413	0.001079	8.682847	-8.0834	-1.83532	-2.37275	1.78807
2600	0.0092	0.009099	-0.02133	0.011523	0.040546	-0.05586	0.008342	-0.05459	-0.00046	0.000701	-0.002	0.000418	0.00108	8.9007	-8.16138	-0.85952	-1.19792	2.562273
2700	0.009194	0.009281	-0.02135	0.011609	0.040729	-0.05586	0.008299	-0.05459	-0.00052	0.000702	-0.002	0.000425	0.001082	9.072645	-8.24925	-0.28217	-0.10142	3.596545
2800	0.009267	0.009411	-0.02127	0.011728	0.040997	-0.05586	0.008259	-0.05459	-0.00058	0.000702	-0.002	0.00043	0.001083	9.313034	-8.41056	0.600118	1.440922	4.828868
2900	0.009301	0.009554	-0.02127	0.011837	0.041229	-0.05586	0.00821	-0.05459	-0.00063	0.000703	-0.00201	0.000435	0.001084	9.520036	-8.58384	1.417352	3.051541	6.173221
3000	0.009371	0.009713	-0.02127	0.011973	0.041684	-0.05586	0.008151	-0.05459	-0.0007	0.000704	-0.00202	0.000442	0.001085	9.817601	-8.82643	2.496834	5.156191	7.841659
3100	0.009433	0.009908	-0.02124	0.012129	0.048537	-0.05586	0.008071	-0.05459	-0.00076	0.000705	-0.00202	0.000447	0.001087	10.03838	-9.11316	3.79587	7.674541	9.812177
3200	0.009467	0.009995	-0.02119	0.012242	-0.05594	-0.05586	0.008026	-0.05459	-0.00081	0.000706	-0.00202	0.000449	0.001088	10.03712	-9.3182	4.767606	9.449837	11.07051



Tabla D.17. Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-9B.

Fecha: 11-02.2015  
11:33:40  
Hora: a.m.

V-9B

P (UNID.)	Acero 1	Acero 2	Acero 3	Varilla 1	Varilla 2	Varilla 3	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	C. Carga 1	C. Carga 2	C. Carga 3	C. Carga 4	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3 *	LVDT 4	LVDT 5
0	0.016773	0.009028	0.008577	0.006505	-0.05594	-0.05586	0.009581	-0.05459	0.000929	0.000669	-0.0019	0.000276	0.001053	-7.02299	-6.29453	1.21	-21.5134	-14.7483
100	0.016787	0.009057	0.008602	0.00654	-0.05594	-0.05586	0.009588	-0.05459	0.000901	0.000671	-0.00191	0.00028	0.001054	-7.10521	-6.21861	1.51	-20.4511	-14.2461
200	0.016815	0.009057	0.008617	0.006558	-0.05594	-0.05586	0.009574	-0.05459	0.000874	0.000674	-0.00191	0.000284	0.001055	-7.17199	-6.16911	1.77	-19.7462	-13.836
300	0.016835	0.009086	0.00864	0.006582	-0.05594	-0.05586	0.00957	-0.05459	0.000846	0.000676	-0.00191	0.00029	0.001057	-7.17574	-6.2314	1.97	-19.1417	-13.4519
400	0.016894	0.00896	0.008675	0.006621	-0.05594	-0.05586	0.009597	-0.05459	0.000827	0.000678	-0.00191	0.000294	0.001059	-6.4696	-6.84282	2.19	-18.5914	-13.1038
500	0.016914	0.008983	0.008702	0.006648	-0.05594	-0.05586	0.00959	-0.05459	0.000803	0.00068	-0.00192	0.000299	0.001061	-6.49005	-6.84324	2.38	-18.0532	-12.7157
600	0.016956	0.009015	0.008729	0.006694	-0.05594	-0.05586	0.00965	-0.05459	0.000787	0.000682	-0.00192	0.000302	0.001062	-6.49047	-6.84117	2.58	-17.6375	-12.4097
700	0.016969	0.009037	0.008747	0.006722	-0.05594	-0.05586	0.009646	-0.05459	0.000766	0.000683	-0.00192	0.000307	0.001063	-6.5226	-6.84447	2.79	-17.2539	-12.0776
800	0.016967	0.009041	0.008761	0.006749	-0.05594	-0.05586	0.009623	-0.05459	0.00074	0.000684	-0.00192	0.00031	0.001065	-6.54472	-6.82178	2.98	-16.8422	-11.6755
900	0.016983	0.009102	0.008786	0.006786	-0.05594	-0.05586	0.009617	-0.05459	0.000724	0.000685	-0.00193	0.000314	0.001065	-6.58604	-6.78878	3.18	-16.4546	-11.3314
1000	0.017002	0.00912	0.008799	0.006806	-0.05594	-0.05586	0.009613	-0.05459	0.000702	0.000686	-0.00193	0.00032	0.001067	-6.61692	-6.77599	3.41	-16.0309	-10.9953
1100	0.017013	0.009136	0.008822	0.006847	-0.05594	-0.05586	0.009595	-0.05459	0.000676	0.000688	-0.00194	0.000323	0.001067	-6.61817	-6.78506	3.68	-15.565	-10.6592
1200	0.017033	0.009156	0.008849	0.006885	-0.05594	-0.05586	0.009572	-0.05459	0.000633	0.00069	-0.00194	0.000328	0.001069	-6.66158	-6.86428	4.02	-14.9525	-10.2411
1300	0.017049	0.009178	0.008878	0.006928	-0.05594	-0.05586	0.009528	-0.05459	0.000585	0.000691	-0.00194	0.000334	0.00107	-6.65239	-6.93854	4.34	-14.1873	-9.74096
1400	0.017075	0.009234	0.008925	0.006966	-0.05594	-0.05586	0.009509	-0.05459	0.000536	0.000692	-0.00195	0.000339	0.00107	-6.66533	-7.01239	4.65	-13.4161	-9.09279
1500	0.017123	0.009265	0.009033	0.007034	-0.05594	-0.05586	0.009487	-0.05459	0.000477	0.000693	-0.00195	0.000345	0.001074	-6.67493	-7.09531	5.1	-12.7012	-8.50263
1600	0.01716	0.009391	0.009095	0.00711	-0.05594	-0.05586	0.009447	-0.05459	0.00042	0.000694	-0.00195	0.000349	0.001074	-6.73169	-7.21743	5.57	-11.8557	-7.82245
1700	0.017149	0.009489	0.009151	0.007189	-0.05594	-0.05586	0.009395	-0.05459	0.000371	0.000696	-0.00196	0.000355	0.001076	-6.75214	-7.37379	6.32	-11.0002	-7.15428
1800	0.017204	0.009407	0.009196	0.007334	-0.05594	-0.05586	0.009333	-0.05459	0.000335	0.000697	-0.00196	0.000362	0.001077	-6.75297	-7.59039	6.91	-9.85751	-6.41408
1900	0.017286	0.009492	0.00923	0.007467	-0.05594	-0.05586	0.00933	-0.05459	0.000298	0.000698	-0.00198	0.000369	0.001077	-6.80264	-7.76408	7.61	-8.91765	-5.65989
2000	0.017345	0.009525	0.009286	0.007598	-0.05594	-0.05586	0.00927	-0.05459	0.000263	0.000699	-0.00198	0.000374	0.001078	-6.87233	-7.92828	8.31	-7.8834	-4.9497
2100	0.017402	0.009566	0.009337	0.007727	-0.05594	-0.05586	0.009236	-0.05459	0.000226	0.0007	-0.00199	0.00038	0.001079	-6.95288	-8.11558	9.08	-6.82304	-4.16349
2200	0.017451	0.00962	0.009378	0.007848	-0.05594	-0.05586	0.009172	-0.05459	0.000194	0.000701	-0.00199	0.000385	0.00108	-7.05221	-8.27566	9.84	-5.80687	-3.45331
2300	0.017405	0.009751	0.009404	0.008001	-0.05594	-0.05586	0.009149	-0.05459	0.000153	0.0007	-0.002	0.000392	0.00108	-7.14027	-8.45636	10.63	-4.74651	-2.60709
2400	0.017479	0.009783	0.009461	0.008132	-0.05594	-0.05586	0.00908	-0.05459	0.000114	0.000701	-0.002	0.000398	0.001082	-7.2517	-8.64119	11.45	-3.61586	-1.81288
2500	0.017534	0.009841	0.009499	0.00827	-0.05594	-0.05586	0.009028	-0.05459	0.000084	0.000701	-0.00201	0.000404	0.001082	-7.35812	-8.82808	12.21	-2.43702	-0.96865
2600	0.017715	0.009916	0.009532	0.008425	-0.05594	-0.05586	0.008957	-0.05459	0.000054	0.000702	-0.00201	0.00041	0.001084	-7.45181	-9.05024	12.77	-1.09751	-0.06242
2700	0.017896	0.009991	0.009566	0.00858	-0.05594	-0.05586	0.008887	-0.05459	0.000025	0.000703	-0.00202	0.000416	0.001085	-7.54551	-9.27241	13.33	0.241995	0.843822
2800	0.017973	0.010047	0.009638	0.008746	-0.05594	-0.05586	0.008813	-0.05459	-2.1E-05	0.000705	-0.00202	0.000422	0.001087	-7.66737	-9.57523	14.31	1.912862	1.916103
2900	0.018107	0.010123	0.009762	0.00899	-0.05594	-0.05586	0.008745	-0.05459	-0.00011	0.000707	-0.00203	0.000428	0.001089	-7.85664	-9.66517	15.13	4.739479	3.606547
3000	0.018241	0.010199	0.009886	0.009234	-0.05594	-0.05586	0.008678	-0.05459	-0.00019	0.000709	-0.00203	0.000434	0.001091	-8.0459	-9.75511	16.07	7.566095	5.296991
3100	0.018387	0.010255	0.010023	0.009522	-0.05594	-0.05586	0.008569	-0.05459	-0.00027	0.00071	-0.00204	0.000439	0.001092	-8.36433	-9.75717	17.94	10.59253	7.589593

Tabla D.18. Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-10A.

Fecha: 17-02.2015  
02:22:47  
Hora: p.m.

V-10A

P (UNID.)	Acero 1	Acero 2	Acero 3	Varilla 1	Varilla 2	Varilla 3	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	C. Carga 1	C. Carga 2	C. Carga 3	C. Carga 4	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	LVDT 4	LVDT 5
0	-0.054553	-0.05462	-0.0546	0.013641	-0.05594	-0.05586	0.009077	-0.00017	0.003811	0.00067	-0.00233	0.000271	0.001057	-5.12617	-6.08536	-24.8094	-11.691	-7.27431
100	-0.054553	-0.05462	-0.0546	0.010885	-0.05594	-0.05586	0.009077	-0.00021	0.003791	0.000672	-0.00233	0.000275	0.001058	-4.83654	-6.41128	-24.3459	-10.699	-6.49611
200	-0.054553	-0.05462	-0.0546	0.012555	-0.05594	-0.05586	0.009084	-0.00024	0.003773	0.000674	-0.00234	0.00028	0.001059	-4.56652	-6.66501	-24.0308	-9.84546	-5.90995
300	-0.054553	-0.05462	-0.0546	0.008525	-0.05594	-0.05586	0.009084	-0.00027	0.003752	0.000677	-0.00234	0.000283	0.00106	-4.5782	-6.63407	-23.7685	-9.1486	-5.44183
400	-0.054553	-0.05462	-0.0546	0.008173	-0.05594	-0.05586	0.00908	-0.00031	0.003727	0.000679	-0.00235	0.000286	0.00106	-4.65082	-6.58084	-23.5164	-8.45575	-5.00572
500	-0.054553	-0.05462	-0.0546	0.008182	-0.05594	-0.05586	0.009134	-0.00033	0.003713	0.00068	-0.00236	0.000292	0.001061	-4.73137	-6.51607	-23.2623	-7.77696	-4.62161
600	-0.054553	-0.05462	-0.0546	0.008588	-0.05594	-0.05586	0.009147	-0.00036	0.0037	0.000681	-0.00236	0.000302	0.001064	-4.79564	-6.4744	-23.0285	-7.09014	-4.24552
700	-0.054553	-0.05462	-0.0546	0.009482	-0.05594	-0.05586	0.009133	-0.00039	0.003675	0.000683	-0.00236	0.000307	0.001065	-4.85907	-6.4447	-22.7378	-6.36315	-3.91543
800	-0.054553	-0.05462	-0.0546	0.009452	-0.05594	-0.05586	0.009134	-0.0004	0.003659	0.000684	-0.00236	0.000317	0.001068	-4.92126	-6.43356	-22.4654	-5.59198	-3.54933
900	-0.054553	-0.05462	-0.0546	0.00935	-0.05594	-0.05586	0.009212	-0.00042	0.003629	0.000684	-0.00236	0.000325	0.00107	-4.9776	-6.41747	-22.1422	-4.83085	-3.20324
1000	-0.054553	-0.05462	-0.0546	0.008637	-0.05594	-0.05586	0.009209	-0.00045	0.003613	0.000685	-0.00237	0.000335	0.001073	-5.04229	-6.39808	-21.9267	-4.2344	-2.77113
1100	-0.054553	-0.05462	-0.0546	0.009704	-0.05594	-0.05586	0.009234	-0.00051	0.003606	0.000685	-0.00237	0.000345	0.001075	-5.12784	-6.39107	-21.6563	-3.54356	-2.297
1200	-0.054553	-0.05462	-0.0546	0.009216	-0.05594	-0.05586	0.009214	-0.00067	0.00359	0.000685	-0.00237	0.000355	0.001077	-5.2568	-6.3692	-21.3392	-2.82662	-1.74686
1300	-0.054553	-0.05462	-0.0546	0.008887	-0.05594	-0.05586	0.009246	-0.00078	0.003552	0.000685	-0.00237	0.000365	0.001079	-5.36197	-6.38942	-21.0342	-1.93897	-1.18271
1400	-0.054553	-0.05462	-0.0546	0.015486	-0.05594	-0.05586	0.009216	-0.00087	0.003522	0.000685	-0.00238	0.000375	0.001081	-5.49427	-6.4348	-20.6927	-0.96898	-0.47052
1500	-0.054553	-0.05462	-0.0546	0.015734	-0.05594	-0.05586	0.009198	-0.00101	0.003458	0.000686	-0.00238	0.000381	0.001083	-5.67999	-6.55031	-19.9466	0.338391	0.539742
1600	-0.054553	-0.05462	-0.0546	0.016352	-0.05594	-0.05586	0.009127	-0.00111	0.003422	0.000687	-0.00238	0.000389	0.001086	-5.89575	-6.65676	-19.2005	1.667855	1.606022
1700	-0.054553	-0.05462	-0.0546	0.008709	-0.05594	-0.05586	0.008965	-0.00129	0.003356	0.000689	-0.00239	0.000392	0.001086	-6.14324	-6.84282	-17.9605	3.238309	2.58828
1800	-0.054553	-0.05462	-0.0546	0.009173	-0.05594	-0.05586	0.008851	-0.00148	0.003326	0.000692	-0.00239	0.000395	0.001088	-6.52385	-7.09531	-16.1715	5.355008	3.776592
1900	-0.054553	-0.05462	-0.0546	0.009643	-0.05594	-0.05586	0.008708	-0.00161	0.003274	0.000695	-0.0024	0.000399	0.00109	-6.86357	-7.28014	-14.6651	7.222684	4.752848
2000	-0.054553	-0.05462	-0.0546	0.010016	-0.05594	-0.05586	0.008609	-0.00179	0.003206	0.000696	-0.0024	0.000404	0.001091	-7.36772	-7.55078	-12.7562	9.624555	6.197227
2100	-0.054553	-0.05462	-0.0546	0.010007	-0.05594	-0.05586	0.008481	-0.00196	0.00316	0.000697	-0.00241	0.000408	0.001091	-7.83723	-7.78718	-11.0119	11.89187	7.733631
2200	-0.054553	-0.05462	-0.0546	0.010874	-0.05594	-0.05586	0.008275	-0.00216	0.003103	0.000698	-0.00241	0.000415	0.001093	-8.28128	-8.14694	-8.77978	14.15317	9.256031
2300	-0.054553	-0.05462	-0.0546	0.017469	-0.05594	-0.05586	0.007987	-0.00262	0.003047	0.000698	-0.00242	0.000422	0.001094	-8.85262	-8.68863	-5.51084	17.25793	11.60265

Tabla D.19. Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-10B.

Fecha: 13-02.2015  
09:29:09  
Hora: a.m.

V-10B

P (UNID.)	Acero 1	Acero 2	Acero 3	Varilla 1	Varilla 2	Varilla 3	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	C. Carga 1	C. Carga 2	C. Carga 3	C. Carga 4	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3*	LVDT 4	LVDT 5
0	-0.054553	-0.05462	-0.00166	0.004945	-0.05594	-0.05586	0.009476	-0.00134	-0.0005	0.000653	-0.00202	0.000274	0.001053	-6.72334	-6.89233	2.66	-9.72296	-8.89074
100	-0.054553	-0.05462	-0.00164	0.005024	-0.05594	-0.05586	0.009469	-0.00134	-0.00052	0.000655	-0.00202	0.000282	0.001056	-6.5514	-7.05612	2.87	-8.68469	-8.28658
200	-0.054553	-0.05462	-0.00163	0.005099	-0.05594	-0.05586	0.009472	-0.00135	-0.00053	0.000657	-0.00203	0.000288	0.001056	-7.10771	-6.51648	3.08	-8.13644	-7.95649
300	-0.054553	-0.05462	-0.0016	0.0052	-0.05594	-0.05586	0.00946	-0.00137	-0.00056	0.000659	-0.00203	0.000298	0.001058	-6.9967	-6.64768	3.54	-7.43958	-7.42635
400	-0.054553	-0.05462	-0.00158	0.005272	-0.05594	-0.05586	0.009451	-0.00139	-0.00057	0.00066	-0.00204	0.000301	0.001059	-7.00254	-6.64067	3.99	-6.86321	-6.95823
500	-0.054553	-0.05462	-0.00156	0.00538	-0.05594	-0.05586	0.009438	-0.00141	-0.00059	0.000661	-0.00204	0.000308	0.00106	-7.10396	-6.53464	4.41	-6.28684	-6.56212
600	-0.054553	-0.05462	-0.00154	0.005506	-0.05594	-0.05586	0.009431	-0.00144	-0.00059	0.000662	-0.00205	0.000312	0.00106	-7.22374	-6.45047	4.83	-5.79883	-6.13801
700	-0.054553	-0.05462	-0.00152	0.005657	-0.05594	-0.05586	0.009406	-0.00148	-0.00061	0.000663	-0.00205	0.000317	0.001061	-7.32598	-6.36466	5.27	-5.29677	-5.75991
800	-0.054553	-0.05462	-0.00151	0.005849	-0.05594	-0.05586	0.009375	-0.00151	-0.00063	0.000664	-0.00205	0.000321	0.001062	-7.42907	-6.29535	5.7	-4.79069	-5.37981
900	-0.054553	-0.05462	-0.00149	0.006062	-0.05594	-0.05586	0.009351	-0.00155	-0.00066	0.000665	-0.00206	0.000327	0.001063	-7.53758	-6.22068	6.08	-4.2826	-5.03972
1000	-0.054553	-0.05462	-0.00149	0.006297	-0.05594	-0.05586	0.009322	-0.00158	-0.00068	0.000666	-0.00207	0.000332	0.001064	-7.61645	-6.17529	6.45	-3.79861	-4.74965
1100	-0.054553	-0.05462	-0.00148	0.006536	-0.05594	-0.05586	0.009299	-0.00164	-0.00072	0.000667	-0.00207	0.000337	0.001065	-7.67113	-6.16663	6.8	-3.17405	-4.34954
1200	-0.054553	-0.05462	-0.00147	0.007367	-0.05594	-0.05586	0.009538	-0.00171	-0.00075	0.00067	-0.00208	0.000346	0.001068	-7.78256	-6.28174	7.4	-1.68392	-3.7974
1300	-0.054553	-0.05462	-0.00151	0.007714	-0.05594	-0.05586	0.009489	-0.00175	-0.0008	0.000672	-0.00209	0.000352	0.001069	-7.8944	-6.3824	8.02	-0.72799	-3.20124
1400	-0.054553	-0.05462	-0.00151	0.008156	-0.05594	-0.05586	0.009274	-0.00184	-0.00081	0.000673	-0.0021	0.000357	0.00107	-8.0267	-6.49751	9.81	0.246011	-2.45304
1500	-0.054553	-0.05462	-0.00153	0.008507	-0.05594	-0.05586	0.009428	-0.00187	-0.00083	0.000674	-0.0021	0.00036	0.001071	-8.12728	-6.56723	10.79	0.832421	-1.98892
1600	-0.054553	-0.05462	-0.00155	0.008857	-0.05594	-0.05586	0.009581	-0.00191	-0.00085	0.000674	-0.0021	0.000363	0.001071	-8.22786	-6.63695	11.82	1.418831	-1.5248
1700	-0.054553	-0.05462	-0.00152	0.009537	-0.05594	-0.05586	0.010003	-0.002	-0.00083	0.000675	-0.00211	0.000369	0.001072	-8.38478	-6.78341	12.03	2.601692	-0.73859
1800	-0.054553	-0.05462	-0.00148	0.009898	-0.05594	-0.05586	0.009713	-0.00206	-0.00089	0.000676	-0.00211	0.000374	0.001073	-8.65146	-7.02641	14.31	4.296658	0.655772
1900	-0.054553	-0.05462	-0.00138	0.011082	-0.05594	-0.05586	0.009903	-0.00214	-0.00037	0.000677	-0.00212	0.000381	0.001075	-9.00287	-7.35481	15.11	6.343069	2.140162
2000	-0.054553	-0.05462	-0.00138	0.016727	-0.05594	-0.05586	0.00933	-0.0022	-0.00046	0.00068	-0.00213	0.000388	0.001077	-9.51244	-7.69518	18.69	8.781089	3.436502
2100	-0.054553	-0.05462	-0.00141	0.023717	-0.05594	-0.05586	0.009003	-0.00228	-0.00065	0.000682	-0.00213	0.000396	0.001079	-9.98654	-7.85154	21.59	11.45608	5.072932
2200	-0.054553	-0.05462	-0.00148	0.020674	-0.05594	-0.05586	0.009134	-0.00229	-0.00071	0.000683	-0.00213	0.000392	0.001079	-9.98654	-8.11476	22.78	14.14915	6.317259

Tabla D.20. Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-11A.

Fecha: 30-01.2015  
09:22:30  
Hora: a.m.

V-11A

P (UNID.)	Acero 1	Acero 2	Acero 3	Varilla 1	Varilla 2	Varilla 3	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	C. Carga 1	C. Carga 2	C. Carga 3	C. Carga 4	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	LVDT 4	LVDT 5
0	0.008086	0.012459	-0.0546	-0.0559	0.016906	-0.05586	0.008493	-0.05459	-0.0004	0.000841	-0.0015	0.000265	0.001053	7.460035	-6.97237	-17.9462	-20.8868	-22.2482
100	0.008162	0.012537	-0.0546	-0.0559	0.016988	-0.05586	0.008551	-0.05459	-0.00042	0.000843	-0.00151	0.000272	0.001054	7.32732	-7.18195	-17.6555	-20.1478	-21.8181
200	0.008172	0.012564	-0.0546	-0.0559	0.017015	-0.05586	0.008566	-0.05459	-0.00043	0.000844	-0.00151	0.000278	0.001055	7.290594	-7.22939	-17.5193	-19.6618	-21.5601
300	0.008201	0.012592	-0.0546	-0.0559	0.017052	-0.05586	0.008575	-0.05459	-0.00045	0.000845	-0.00151	0.000284	0.001056	7.192518	-7.31975	-17.4461	-19.2943	-21.336
400	0.008223	0.012615	-0.0546	-0.0559	0.017086	-0.05586	0.008587	-0.05459	-0.00046	0.000846	-0.00151	0.000291	0.001057	7.127413	-7.36925	-17.3729	-18.9308	-21.1299
500	0.008253	0.012653	-0.0546	-0.0559	0.017127	-0.05586	0.008603	-0.05459	-0.00048	0.000849	-0.00152	0.000295	0.001059	7.104459	-7.33707	-17.316	-18.501	-20.8799
600	0.008266	0.012677	-0.0546	-0.0559	0.017167	-0.05586	0.00862	-0.05459	-0.0005	0.00085	-0.00152	0.000301	0.001061	7.123657	-7.1935	-17.2042	-18.1134	-20.6738
700	0.008299	0.012726	-0.0546	-0.0559	0.01724	-0.05586	0.008632	-0.05459	-0.00051	0.000851	-0.00152	0.000305	0.001061	7.552685	-6.77764	-17.1392	-17.6736	-20.4538
800	0.008315	0.012766	-0.0546	-0.0559	0.017319	-0.05586	0.008634	-0.05459	-0.00054	0.000854	-0.00153	0.00031	0.001063	7.700006	-6.65841	-17.0416	-17.1515	-20.2297
900	0.008342	0.012821	-0.0546	-0.0559	0.017412	-0.05586	0.008641	-0.05459	-0.00053	0.000856	-0.00153	0.000316	0.001065	7.754261	-6.64768	-16.9135	-16.5852	-19.9977
1000	0.008374	0.012868	-0.0546	-0.0559	0.017555	-0.05586	0.008659	-0.05459	-0.00052	0.000857	-0.00154	0.000321	0.001066	7.800586	-6.67986	-16.7753	-15.9044	-19.7556
1100	0.008389	0.012919	-0.0546	-0.0559	0.017687	-0.05586	0.008663	-0.05459	-0.00055	0.00086	-0.00154	0.000327	0.001068	7.798916	-6.79001	-16.6472	-15.1151	-19.5055
1200	0.008407	0.012966	-0.0546	-0.0559	0.017843	-0.05586	0.008654	-0.05459	-0.00058	0.000861	-0.00154	0.000332	0.00107	7.798499	-6.97567	-16.2731	-14.2435	-19.2615
1300	0.008448	0.013046	-0.0546	-0.0559	0.018036	-0.05586	0.00865	-0.05459	-0.00061	0.000862	-0.00155	0.00034	0.001071	7.668288	-7.30531	-16.0109	-13.3961	-19.0334
1400	0.008459	0.013097	-0.0546	-0.0559	0.018202	-0.05586	0.008641	-0.05459	-0.00065	0.000863	-0.00155	0.000343	0.001071	7.492587	-7.60565	-15.6653	-12.5064	-18.7613
1500	0.008475	0.013163	-0.0546	-0.0559	0.018386	-0.05586	0.008638	-0.05459	-0.00066	0.000864	-0.00156	0.000351	0.001073	7.493839	-7.79749	-15.2587	-11.4782	-18.3532
1600	0.008498	0.013252	-0.0546	-0.0559	0.018612	-0.05586	0.008582	-0.05459	-0.00067	0.000867	-0.00156	0.000358	0.001075	7.456696	-8.05452	-14.4943	-10.1648	-17.8411
1700	0.008592	0.013309	-0.0546	-0.0559	0.018902	-0.05586	0.008549	-0.05459	-0.00072	0.000868	-0.00157	0.000364	0.001076	7.531817	-8.10774	-14.1508	-9.29319	-17.2869
1800	0.008594	0.01336	-0.0546	-0.0559	0.019091	-0.05586	0.008506	-0.05459	-0.00074	0.000871	-0.00158	0.000369	0.001078	7.805594	-8.07928	-13.7421	-8.32923	-16.6348
1900	0.008587	0.013427	-0.0546	-0.0559	0.019319	-0.05586	0.008425	-0.05459	-0.00075	0.000872	-0.00158	0.000377	0.001079	7.977539	-8.18819	-13.2197	-7.16445	-15.9026
2000	0.008594	0.01348	-0.0546	-0.0559	0.019532	-0.05586	0.008387	-0.05459	-0.00079	0.000873	-0.00159	0.000382	0.00108	8.310995	-8.18819	-12.7135	-6.05991	-15.0904
2100	0.008554	0.013569	-0.0546	-0.0559	0.019711	-0.05586	0.008351	-0.05459	-0.00082	0.000876	-0.0016	0.00039	0.001082	9.101859	-7.71209	-12.0345	-4.94332	-14.4722
2200	0.008567	0.013653	-0.0546	-0.0559	0.024277	-0.05586	0.00829	-0.05459	-0.00086	0.000879	-0.0016	0.000395	0.001084	10.03128	-7.118	-11.3413	-3.71627	-13.838
2300	0.008632	0.01376	-0.0546	-0.0559	0.025164	-0.05586	0.008167	-0.05459	-0.00094	0.000883	-0.00161	0.000403	0.001087	10.03504	-7.23971	-10.5078	-2.38079	-13.1659
2400	0.00865	0.013855	-0.0546	-0.0559	0.025985	-0.05586	0.008106	-0.05459	-0.00097	0.000886	-0.00161	0.000409	0.00109	10.03086	-7.50953	-9.5157	-0.95292	-12.2476
2500	0.008655	0.01397	-0.0546	-0.0559	0.027959	-0.05586	0.008037	-0.05459	-0.001	0.000889	-0.00162	0.000416	0.001092	10.03879	-7.85278	-8.16584	0.533191	-11.5774
2600	0.008662	0.014143	-0.0546	-0.0559	0.027961	-0.05586	0.007895	-0.05459	-0.00103	0.000893	-0.00162	0.000423	0.001095	10.03879	-8.32475	-5.96215	2.625792	-10.7732

Tabla D.21. Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-11B.

Fecha: 13-11.2014  
09:26:27  
Hora: a.m.

V-11B

P (UNID.)	Acero 1	Acero 2	Acero 3	Varilla 1	Varilla 2	Varilla 3	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	C. Carga 1	C. Carga 2	C. Carga 3	C. Carga 4	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	LVDT 4	LVDT 5
0	0.015917	0.01638	0.014279	0.010088	0.01268	-0.05586	0.008154	-0.05459	0.000424	-0.00089	-0.00152	-0.00029	-0.001	3.74861	5.186709	-7.53766	-19.4027	-14.9043
100	0.015965	0.017547	0.014322	0.010146	0.012721	-0.05586	0.008149	-0.05459	0.000397	-0.00089	-0.00153	-0.00029	-0.001	3.65596	5.310478	-7.48481	-19.0834	-14.5662
200	0.015985	0.017499	0.014337	0.010161	0.01273	-0.05586	0.008134	-0.05459	0.00039	-0.0009	-0.00153	-0.0003	-0.001	3.687261	5.328218	-7.2063	-18.7661	-14.2601
300	0.015998	0.017492	0.014346	0.01019	0.012729	-0.05586	0.00812	-0.05459	0.000374	-0.0009	-0.00154	-0.00031	-0.00101	3.761547	5.278711	-6.92982	-18.4508	-13.9801
400	0.016022	0.01749	0.014361	0.010213	0.012749	-0.05586	0.008098	-0.05459	0.000364	-0.0009	-0.00154	-0.00031	-0.00101	3.873813	5.177633	-6.67571	-18.1737	-13.65
500	0.016031	0.017475	0.014379	0.010233	0.012768	-0.05586	0.008088	-0.05459	0.00035	-0.0009	-0.00155	-0.00032	-0.00101	3.994424	5.074079	-6.48055	-17.8604	-13.2999
600	0.016055	0.017473	0.014394	0.01027	0.012792	-0.05586	0.008079	-0.05459	0.000342	-0.0009	-0.00155	-0.00033	-0.00101	4.115454	4.9664	-6.19797	-17.6013	-12.9758
700	0.016091	0.017508	0.014421	0.010316	0.012814	-0.05586	0.00807	-0.05459	0.00033	-0.0009	-0.00155	-0.00033	-0.00101	4.237735	4.870273	-5.85034	-17.3403	-12.7017
800	0.016109	0.017515	0.014446	0.010346	0.012831	-0.05586	0.008059	-0.05459	0.000312	-0.0009	-0.00156	-0.00034	-0.00102	4.339567	4.783222	-5.64298	-17.0772	-12.3576
900	0.016131	0.017543	0.014474	0.010388	0.012872	-0.05586	0.008052	-0.05459	0.000302	-0.0009	-0.00156	-0.00035	-0.00102	4.419279	4.722575	-5.33398	-16.782	-11.9915
1000	0.016183	0.017609	0.014507	0.010498	0.012946	-0.05586	0.008023	-0.05459	0.000288	-0.00091	-0.00157	-0.00035	-0.00102	4.469777	4.724225	-4.80135	-16.4366	-11.6275
1100	0.016216	0.017655	0.01454	0.010559	0.013004	-0.05586	0.008017	-0.05459	0.000263	-0.00091	-0.00157	-0.00036	-0.00102	4.49607	4.771257	-4.47405	-16.0409	-11.1793
1200	0.016236	0.017701	0.014583	0.010639	0.013084	-0.05586	0.007996	-0.05459	0.000243	-0.00091	-0.00157	-0.00036	-0.00102	4.526953	4.827366	-4.13252	-15.5871	-10.7012
1300	0.016291	0.017753	0.014636	0.010733	0.013224	-0.05586	0.007969	-0.05459	0.000218	-0.00091	-0.00158	-0.00037	-0.00102	4.579121	4.892964	-3.66902	-15.0207	-10.1731
1400	0.016326	0.01781	0.014676	0.010848	0.013389	-0.05586	0.007945	-0.05459	0.000188	-0.00091	-0.00159	-0.00037	-0.00102	4.655495	4.924731	-3.14046	-14.4986	-9.74696
1500	0.016357	0.017846	0.014722	0.010922	0.013509	-0.05586	0.00792	-0.05459	0.00016	-0.00091	-0.00159	-0.00038	-0.00103	4.716009	4.965162	-2.7481	-13.9483	-9.29484
1600	0.016399	0.017894	0.014759	0.011032	0.013673	-0.05586	0.007906	-0.05459	0.000137	-0.00092	-0.00159	-0.00039	-0.00103	4.778193	5.029935	-2.29476	-13.376	-8.78871
1700	0.016467	0.018028	0.014855	0.011182	0.01429	-0.05586	0.007563	-0.05459	0.000103	-0.00092	-0.0016	-0.00039	-0.00103	4.861244	5.070779	-1.83939	-12.7936	-8.34859
1800	0.016511	0.018065	0.014903	0.011282	0.014467	-0.05586	0.007531	-0.05459	0.000086	-0.00092	-0.0016	-0.0004	-0.00103	4.938453	5.138439	-1.25594	-12.175	-7.87447
1900	0.016624	0.018074	0.015009	0.011494	0.014699	-0.05586	0.007918	-0.05459	-0.00045	-0.00092	-0.0016	-0.0004	-0.00103	5.054056	5.216414	-0.48343	-11.434	-7.37434
2000	0.016685	0.018128	0.015071	0.011599	0.014914	-0.05586	0.007882	-0.05459	-0.00048	-0.00092	-0.00161	-0.00041	-0.00104	5.291107	5.300989	0.187435	-10.6206	-6.70216
2100	0.016743	0.018266	0.015204	0.011956	0.015175	-0.05586	0.007497	-0.05459	-1.2E-05	-0.00092	-0.00161	-0.00042	-0.00104	5.440933	5.398354	0.990439	-9.77116	-5.85794
2200	0.0168	0.018348	0.015301	0.012088	0.015454	-0.05586	0.007462	-0.05459	-5.1E-05	-0.00092	-0.00161	-0.00042	-0.00104	5.681322	5.545639	1.653171	-8.70678	-4.89169
2300	0.016822	0.019889	0.015394	0.012447	0.015789	-0.05586	0.005253	-0.05459	-0.00001	-0.00093	-0.00161	-0.00043	-0.00104	5.955516	5.588546	2.34843	-7.56409	-4.06547
2400	0.016912	0.020013	0.01549	0.01262	0.016173	-0.05586	0.005187	-0.05459	-9.3E-05	-0.00093	-0.00162	-0.00043	-0.00105	6.363676	5.637641	3.212422	-6.30491	-3.09521
2500	0.016996	0.016675	0.015623	0.012756	0.016598	-0.05586	0.003889	-0.05459	-0.00015	-0.00093	-0.00162	-0.00044	-0.00105	6.776011	5.728818	4.127236	-4.49949	-1.70085
2600	0.017121	0.016816	0.015757	0.012899	0.022614	-0.05586	0.003827	-0.05459	-0.00022	-0.00093	-0.00163	-0.00044	-0.00105	7.285585	5.889305	5.452701	-2.52538	-0.53454
2700	0.017332	0.015667	0.015976	0.01302	0.025247	-0.05586	-0.01686	-0.05459	-0.00015	-0.00093	-0.00163	-0.00045	-0.00105	8.033045	6.094349	7.34535	1.019189	1.582015
2800	0.017453	0.018015	0.01613	0.0131	0.026101	-0.05586	-0.01707	-0.05459	-0.0002	-0.00093	-0.00163	-0.00045	-0.00105	8.590615	6.159122	8.355712	3.382903	2.910364

Tabla D.22. Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-12A.

Fecha: 29 10.2014  
11:15:30  
Hora: a.m.

V-12A

P (UNID.)	Acero 1	Acero 2	Acero 3	Varilla 1	Varilla 2	Varilla 3	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	C. Carga 1	C. Carga 2	C. Carga 3	C. Carga 4	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	LVDT 4	LVDT 5
0	-0.054553	0.011009	0.01043	-0.0559	0.011228	-0.05586	0.007009	-0.05459	0.000474	-0.00088	-0.00152	-0.00025	-0.00105	4.453084	5.428059	-19.5482	-15.4083	-5.12775
100	-0.054553	0.011021	0.010475	-0.0559	0.011663	-0.05586	0.006993	-0.05459	0.000445	-0.00088	-0.00153	-0.00026	-0.00105	4.581598	5.421238	-19.022	-14.3228	-4.54306
200	-0.054553	0.011033	0.01052	-0.0559	0.012098	-0.05586	0.006977	-0.05459	0.000416	-0.00088	-0.00153	-0.00027	-0.00105	4.710112	5.414417	-18.4959	-13.2373	-3.95837
300	-0.054553	0.011045	0.010565	-0.0559	0.012533	-0.05586	0.006961	-0.05459	0.000387	-0.00089	-0.00153	-0.00028	-0.00105	4.838626	5.407596	-17.9698	-12.1517	-3.37369
400	-0.054553	0.011057	0.01061	-0.0559	0.012968	-0.05586	0.006945	-0.05459	0.000358	-0.00089	-0.00154	-0.00028	-0.00105	4.96714	5.400775	-17.4437	-11.0662	-2.789
500	-0.054553	0.011069	0.010655	-0.0559	0.013403	-0.05586	0.006929	-0.05459	0.000329	-0.00089	-0.00154	-0.00029	-0.00105	5.095654	5.393954	-16.9176	-9.98069	-2.20431
600	-0.054553	0.011081	0.0107	-0.0559	0.013838	-0.05586	0.006913	-0.05459	0.0003	-0.00089	-0.00155	-0.0003	-0.00106	5.224168	5.387133	-16.3914	-8.89516	-1.61963
700	-0.054553	0.011093	0.010745	-0.0559	0.014273	-0.05586	0.006897	-0.05459	0.000271	-0.00089	-0.00155	-0.0003	-0.00106	5.352682	5.380312	-15.8653	-7.80963	-1.03494
800	-0.054553	0.011105	0.01079	-0.0559	0.014708	-0.05586	0.006881	-0.05459	0.000242	-0.0009	-0.00156	-0.00031	-0.00106	5.481196	5.373491	-15.3392	-6.7241	-0.45025
900	-0.054553	0.011117	0.010835	-0.0559	0.015143	-0.05586	0.006865	-0.05459	0.000213	-0.0009	-0.00156	-0.00032	-0.00106	5.60971	5.36667	-14.8131	-5.63857	0.134436
1000	-0.054553	0.011129	0.01088	-0.0559	0.015578	-0.05586	0.006849	-0.05459	0.000184	-0.0009	-0.00157	-0.00032	-0.00106	5.738224	5.359849	-14.287	-4.55305	0.719123
1100	-0.054553	0.011141	0.010925	-0.0559	0.016013	-0.05586	0.006833	-0.05459	0.000155	-0.0009	-0.00157	-0.00033	-0.00107	5.866738	5.353028	-13.7608	-3.46752	1.30381
1200	-0.054553	0.011153	0.01097	-0.0559	0.016448	-0.05586	0.006817	-0.05459	0.000126	-0.0009	-0.00158	-0.00033	-0.00107	5.995252	5.346207	-13.2347	-2.38199	1.888497
1300	-0.054553	0.011165	0.011015	-0.0559	0.016883	-0.05586	0.006801	-0.05459	0.000097	-0.0009	-0.00158	-0.00034	-0.00107	6.123766	5.339386	-12.7086	-1.29646	2.473184
1400	-0.054553	0.011177	0.01106	-0.0559	0.017318	-0.05586	0.006785	-0.05459	0.000068	-0.00091	-0.00159	-0.00035	-0.00107	6.25228	5.332565	-12.1825	-0.21093	3.057871
1500	-0.054553	0.01119	0.011111	-0.0559	0.017754	-0.05586	0.006762	-0.05459	0.000038	-0.00091	-0.00159	-0.00035	-0.00107	6.380787	5.325743	-11.6564	0.874594	3.642557
1600	-0.054553	0.011197	0.010501	-0.0559	0.017886	-0.05586	0.00675	-0.05459	0.000015	-0.00091	-0.0016	-0.00036	-0.00107	6.443806	5.357923	-11.2925	1.521252	4.208705
1700	-0.054553	0.011203	0.010943	-0.0559	0.018004	-0.05586	0.006736	-0.05459	-1E-06	-0.00091	-0.0016	-0.00037	-0.00108	6.526857	5.388453	-10.9774	2.091596	4.704836
1800	-0.054553	0.011212	0.011497	-0.0559	0.018168	-0.05586	0.0067	-0.05459	-1.2E-05	-0.00091	-0.0016	-0.00037	-0.00108	6.596136	5.397942	-10.4488	2.639849	4.956902
1900	-0.054553	0.011203	0.009613	-0.0559	0.018335	-0.05586	0.006691	-0.05459	-3.8E-05	-0.00091	-0.00161	-0.00038	-0.00108	6.676266	5.449925	-10.0829	3.469258	5.779118
2000	-0.054553	0.011215	0.010877	-0.0559	0.018469	-0.05586	0.006671	-0.05459	-5.8E-05	-0.00092	-0.00161	-0.00038	-0.00108	6.73052	5.466015	-9.61734	3.91509	5.909152
2100	-0.054553	0.011215	0.011033	-0.0559	0.018697	-0.05586	0.006664	-0.05459	-8.6E-05	-0.00092	-0.00162	-0.00039	-0.00108	6.833186	5.524599	-9.20466	4.644086	6.515311
2200	-0.054553	0.01123	0.011214	-0.0559	0.020519	-0.05586	0.006628	-0.05459	-0.00011	-0.00092	-0.00162	-0.0004	-0.00109	6.923332	5.565442	-8.62528	5.537759	7.08146
2300	-0.054553	0.011235	0.010179	-0.0559	0.022498	-0.05586	0.00661	-0.05459	-0.00015	-0.00092	-0.00162	-0.0004	-0.00109	7.064811	5.654144	-7.82431	6.784885	7.705624
2400	-0.054553	0.011204	0.011167	-0.0559	0.023254	-0.05586	0.006576	-0.05459	-0.0002	-0.00092	-0.00163	-0.00041	-0.00109	7.297688	5.767599	-6.80378	8.495917	8.449819
2500	-0.054553	0.011188	0.011499	-0.0559	0.023782	-0.05586	0.006534	-0.05459	-0.00023	-0.00093	-0.00163	-0.00041	-0.00109	7.86277	5.600098	-5.48645	10.56643	9.398068
2600	-0.054553	0.011168	0.011512	-0.0559	0.024382	-0.05586	0.006513	-0.05459	-0.00026	-0.00093	-0.00163	-0.00042	-0.0011	8.055582	5.774612	-4.35411	12.58673	10.45034
2700	-0.054553	0.011181	0.01122	-0.0559	0.026375	-0.05586	0.006455	-0.05459	-0.00031	-0.00094	-0.00164	-0.00042	-0.0011	8.224606	6.233796	-2.65662	15.47058	11.66666

Tabla D.23. Datos adquiridos de deformaciones medidas durante el ensaye de la viga V-12B.

Fecha: 19-02.2015  
11:41:43  
Hora: a.m.

V-12B

P (UNID.)	Acero 1	Acero 2	Acero 3	Varilla 1	Varilla 2	Varilla 3	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	C. Carga 1	C. Carga 2	C. Carga 3	C. Carga 4	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	LVDT 4	LVDT 5
0	0.013186	0.015173	0.034318	0.018684	0.011605	-0.05586	0.007808	-0.00078	-0.00126	0.000604	-0.00238	0.000252	0.001064	-5.80895	-5.25817	-8.69846	-7.05198	-24.2408
100	0.01321	0.015219	0.034185	0.018722	0.011597	-0.05586	0.007787	-0.00079	-0.00128	0.000605	-0.00238	0.00026	0.001066	-5.77931	-5.33036	-8.0276	-6.16233	-23.7266
200	0.013231	0.015248	0.034088	0.018748	0.01159	-0.05586	0.007774	-0.00081	-0.00129	0.000605	-0.00238	0.000268	0.001067	-5.76638	-5.38977	-7.49497	-5.46747	-23.2005
300	0.01326	0.015265	0.033992	0.018788	0.011595	-0.05586	0.007769	-0.00083	-0.0013	0.000606	-0.00239	0.000273	0.001068	-5.76095	-5.39184	-7.0152	-4.79471	-22.6604
400	0.013286	0.015279	0.033936	0.018827	0.011595	-0.05586	0.007756	-0.00085	-0.00131	0.000608	-0.00239	0.00028	0.00107	-5.76137	-5.36254	-6.56999	-4.19625	-22.1242
500	0.013299	0.015305	0.033914	0.018871	0.011606	-0.05586	0.007743	-0.00086	-0.00132	0.000611	-0.0024	0.000282	0.001073	-5.81479	-5.33614	-6.1939	-3.68213	-21.7021
600	0.013315	0.015329	0.033849	0.018912	0.011623	-0.05586	0.007729	-0.00088	-0.00134	0.000614	-0.0024	0.000285	0.001074	-5.83023	-5.31386	-5.84424	-3.15597	-21.288
700	0.013331	0.015342	0.033803	0.018939	0.011636	-0.05586	0.007715	-0.0009	-0.00135	0.000616	-0.00241	0.000289	0.001075	-5.85527	-5.31015	-5.5698	-2.70411	-20.9119
800	0.013353	0.015382	0.033619	0.018978	0.01166	-0.05586	0.007713	-0.00093	-0.00135	0.000619	-0.00241	0.000292	0.001077	-5.89283	-5.28581	-5.14085	-2.00323	-20.4398
900	0.013377	0.015417	0.033566	0.019014	0.011679	-0.05586	0.007702	-0.00096	-0.00137	0.00062	-0.00242	0.000299	0.001079	-5.90368	-5.32005	-4.85421	-1.5333	-20.0737
1000	0.013391	0.015492	0.033602	0.01905	0.011716	-0.05586	0.007653	-0.001	-0.00138	0.000622	-0.00243	0.000302	0.00108	-5.897	-5.37533	-4.55537	-1.03325	-19.7296
1100	0.013444	0.015523	0.033576	0.019135	0.011781	-0.05586	0.007666	-0.00102	-0.00141	0.000623	-0.00243	0.00031	0.001081	-5.87781	-5.43846	-4.33785	-0.53319	-19.3675
1200	0.013468	0.015541	0.033566	0.01925	0.011812	-0.05586	0.007639	-0.00107	-0.00141	0.000625	-0.00243	0.000314	0.001082	-5.86612	-5.49993	-3.97802	-0.06929	-18.9594
1300	0.013495	0.015567	0.033329	0.019336	0.011866	-0.05586	0.007628	-0.00111	-0.00143	0.000627	-0.00244	0.000318	0.001084	-5.86487	-5.56759	-3.54907	0.384581	-18.5213
1400	0.013528	0.015583	0.038109	0.019421	0.01197	-0.05586	0.007599	-0.00115	-0.00145	0.000629	-0.00244	0.000322	0.001085	-5.89659	-5.63484	-3.17298	1.015172	-17.9031
1500	0.013583	0.015642	0.054367	0.01954	0.012139	-0.05586	0.007614	-0.0012	-0.00147	0.00063	-0.00245	0.00033	0.001086	-5.92956	-5.6732	-2.77453	1.585516	-17.405
1600	0.013626	0.015664	0.061872	0.01971	0.01252	-0.05586	0.007576	-0.00125	-0.0015	0.000632	-0.00246	0.000333	0.001087	-6.00635	-5.76026	-2.06098	2.370743	-16.8388
1700	0.013679	0.015728	0.061872	0.019839	0.012773	-0.05586	0.007491	-0.00134	-0.00153	0.000633	-0.00246	0.00034	0.001089	-6.10651	-5.84524	-1.45923	3.176053	-16.2227
1800	0.013712	0.015762	0.061872	0.019967	0.013023	-0.05586	0.007468	-0.0015	-0.00156	0.000634	-0.00246	0.000346	0.00109	-6.22712	-5.91785	-0.76601	4.065709	-15.5765
1900	0.013798	0.015839	0.061872	0.020135	0.013285	-0.05586	0.007482	-0.00159	-0.00158	0.000635	-0.00247	0.000354	0.001091	-6.32645	-5.98552	-0.15816	4.850936	-15.0343
2000	0.013832	0.015872	0.061872	0.02025	0.013505	-0.05586	0.007443	-0.00169	-0.00161	0.000636	-0.00247	0.000361	0.001093	-6.46042	-6.05441	0.445616	5.702436	-14.4022
2100	0.013876	0.015927	0.061872	0.020351	0.013727	-0.05586	0.007408	-0.00179	-0.00162	0.000637	-0.00247	0.000369	0.001095	-6.56684	-6.16251	1.104283	6.726645	-13.732
2200	0.013911	0.01598	0.061872	0.02046	0.013973	-0.05586	0.007378	-0.00187	-0.00165	0.000639	-0.00248	0.000376	0.001096	-6.67034	-6.28957	1.823937	7.764912	-13.1379
2300	0.013925	0.016008	0.061872	0.020581	0.014247	-0.05586	0.007358	-0.00195	-0.00169	0.000639	-0.00248	0.000384	0.001099	-6.76591	-6.43727	2.543591	8.801171	-12.4617
2400	0.013969	0.01607	0.061872	0.02071	0.014463	-0.05586	0.00732	-0.00202	-0.00172	0.000641	-0.00248	0.000388	0.0011	-6.8715	-6.55815	3.16973	9.749067	-11.7635
2500	0.014013	0.016119	0.061872	0.020806	0.014654	-0.05586	0.007291	-0.00208	-0.00174	0.000643	-0.00249	0.000394	0.001101	-6.95538	-6.68605	3.728784	10.61462	-11.1893
2600	0.014073	0.016211	0.061872	0.020982	0.014992	-0.05586	0.007263	-0.00217	-0.00178	0.000645	-0.00249	0.000396	0.001102	-7.08476	-6.8717	4.53382	11.96618	-10.3751
2700	0.014133	0.016403	0.061872	0.021137	0.015544	-0.05586	0.00723	-0.00226	-0.00181	0.000647	-0.0025	0.000401	0.001103	-7.30595	-7.10686	5.151828	13.69328	-8.88073
2800	0.014191	0.016427	0.061872	0.021245	0.021043	-0.05586	0.007198	-0.00233	-0.00184	0.000648	-0.0025	0.000406	0.001105	-7.40194	-7.19309	5.806429	14.30178	-8.7507
2900	0.014264	0.016534	0.061872	0.021435	0.024918	-0.05586	0.007151	-0.00242	-0.00188	0.00065	-0.00251	0.000411	0.001106	-7.58223	-7.38947	6.698881	15.72965	-7.9805
3000	0.014418	0.01675	0.061872	0.021726	0.020712	-0.05586	0.007109	-0.00256	-0.00194	0.000651	-0.00251	0.000415	0.001107	-7.94991	-7.81358	7.815971	18.87758	-6.02498
3100	0.014571	0.016966	0.061872	0.022017	0.016506	-0.05586	0.007066	-0.0027	-0.002	0.000653	-0.00252	0.00042	0.001108	-8.31759	-8.2377	8.933061	22.02552	-4.06947

## **APÉNDICE E**

### **TABLAS DE MOMENTOS, DEFLEXIONES, CURVATURAS Y ESFUERZOS**



Tabla E.1. Momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos para viga V-1 (PPR = 0.79).

CARGA TOTAL (kN)	MOMENTOS (kN-m)					DEFLEXIONES REALES Y CURVATURA $\varphi = [M/(Ec I_g FR)]$						ESFUERZOS (MPa)								
												CABLES DE PRESFUERZO			ACERO CONVENCIONAL			CONCRETO		
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	$\Delta$ CL 1 (mm)	$\varphi$ CL 1 (1/mm)	$\Delta$ CL 2 (mm)	$\varphi$ CL 2 (1/mm)	$\Delta$ CL 3 (mm)	$\varphi$ CL 3 (1/mm)	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.71	-1.36E-06	-0.46	-1.18E-06	-0.67	-1.30E-06	1268.7	1268.7	1268.7	-29.5	-36.9	-29.0	0.2	-1.7	0.3
Mpp =	0.48	0.61	0.16	0.61	0.48	-0.61	-1.18E-06	-0.45	-1.12E-06	-0.58	-1.12E-06									
10.08	1.41	1.72	0.54	1.76	1.44	-0.52	-8.21E-07	-0.26	-9.71E-07	-0.31	-7.66E-07	1273.4	1269.5	1272.6	-17.3	-29.0	-29.0	0.6	-1.0	0.7
20.16	2.34	2.84	0.92	2.91	2.41	-0.30	-4.73E-07	-0.06	-8.26E-07	0.04	-3.89E-07	1277.6	1275.1	1278.0	8.9	-20.5	-29.0	0.6	0.0	1.4
30.25	3.27	3.95	1.30	4.06	3.37	-0.07	-1.24E-07	0.27	-6.93E-07	0.44	-1.67E-08	1282.0	1275.9	1281.0	4.5	-13.5	-29.0	0.6	0.7	1.9
40.33	4.19	5.07	1.67	5.21	4.33	0.18	2.49E-07	0.54	-5.61E-07	0.80	3.70E-07	1284.9	1278.0	1283.9	10.7	-6.8	-29.0	0.9	1.3	2.2
50.42	5.12	6.18	2.05	6.36	5.30	0.41	6.28E-07	0.84	-4.26E-07	1.19	7.66E-07	1289.9	1279.3	1287.8	14.7	0.3	-29.0	1.3	2.0	2.8
60.50	6.05	7.30	2.43	7.51	6.26	0.60	9.76E-07	1.05	-2.64E-07	1.57	1.16E-06	1294.3	1282.2	1290.6	18.5	7.8	-29.0	1.5	2.5	3.0
70.59	6.98	8.41	2.81	8.66	7.23	0.77	1.31E-06	1.30	-1.13E-07	1.93	1.54E-06	1297.6	1284.7	1293.6	36.1	17.3	-29.0	2.2	3.4	3.5
80.67	7.91	9.53	3.19	9.82	8.19	0.97	1.65E-06	1.53	3.70E-08	2.30	1.94E-06	1304.5	1286.6	1296.7	39.5	38.1	-29.0	2.6	3.9	4.0
90.75	8.84	10.65	3.57	10.97	9.15	1.17	2.03E-06	1.69	1.79E-07	2.62	2.28E-06	1313.7	1288.2	1300.5	40.3	26.7	-29.0	2.8	4.8	4.7
100.83	9.76	11.76	3.95	12.12	10.12	1.37	2.38E-06	1.89	3.16E-07	2.94	2.63E-06	1317.6	1289.9	1303.3	46.5	37.4	-29.0	3.4	5.3	5.2
110.92	10.69	12.88	4.33	13.27	11.08	1.56	2.74E-06	2.08	4.95E-07	3.29	3.00E-06	1322.0	1288.7	1304.2	47.3	88.1	-29.0	4.0	5.7	5.6
121.00	11.62	13.99	4.71	14.42	12.04	1.84	3.20E-06	2.18	6.40E-07	3.64	3.38E-06	1325.7	1293.4	1307.1	51.7	95.3	-29.0	4.2	6.3	5.8
131.09	12.55	15.11	5.09	15.57	13.01	2.05	3.59E-06	2.34	8.02E-07	3.94	3.78E-06	1326.6	1298.0	1309.5	48.7		-29.0	4.4	6.8	6.2
141.17	13.48	16.22	5.47	16.72	13.97	2.28	4.01E-06	2.49	9.61E-07	4.21	4.17E-06	1331.2	1302.6	1311.4	45.7		-29.0	4.6	7.3	6.7
151.26	14.41	17.34	5.85	17.87	14.93	2.95	5.04E-06	2.87	1.23E-06	5.10	5.23E-06	1328.3	1315.1	1320.5	116.7	226.0	-29.0	5.9	7.7	7.6
161.34	15.34	18.45	6.23	19.02	15.90	3.53	5.98E-06	3.15	1.47E-06	5.75	6.09E-06	1334.3	1343.7	1325.0	167.6	290.7	-29.0	7.8	7.9	8.5
171.42	16.26	19.57	6.61	20.17	16.86	4.15	6.99E-06	3.56	1.82E-06	6.47	7.04E-06	1354.3	1328.5	1336.4	220.8	373.4	-29.0	8.8	8.9	11.7
181.50	17.19	20.68	6.99	21.32	17.82	4.95	8.31E-06	4.07	2.26E-06	7.26	8.11E-06	1367.8	1338.3	1349.5	272.6	402.3	-29.0	10.2	9.6	12.6
191.59	18.12	21.80	7.37	22.47	18.79	5.90	9.86E-06	4.71	2.80E-06	8.37	9.53E-06	1398.0	1353.2	1371.7	277.8	411.9	-29.0	12.1	10.4	15.3
201.67	19.05	22.91	7.75	23.63	19.75	6.81	1.14E-05	5.44	3.46E-06	9.26	1.08E-05	1412.4	1371.4	1389.6	340.4	411.9	-29.0	14.9	11.0	17.5
211.75	19.98	24.03	8.13	24.78	20.72	7.94	1.33E-05	6.41	4.32E-06	10.47	1.24E-05	1425.3	1391.8	1418.2	383.6	411.9	-29.0	17.2	12.4	
221.84	20.91	25.14	8.51	25.93	21.68	9.35	1.56E-05	7.55	5.41E-06	11.68	1.41E-05	1446.8	1424.5	1446.5	411.9	411.9	-29.0	20.5	13.6	24.3
231.93	21.83	26.26	8.89	27.08	22.64	10.68	1.79E-05	8.62	6.51E-06	12.72	1.57E-05	1472.8	1471.7	1452.5	411.9	411.9	-29.0	22.8	13.8	27.9
242.01	22.76	27.37	9.27	28.23	23.61	12.52	2.10E-05	10.07	7.97E-06	14.00	1.75E-05	1490.0	1471.7	1475.3	411.9	411.9	-29.0	26.3	14.9	30.0
252.09	23.69	28.49	9.64	29.38	24.57	14.30	2.41E-05	11.55	9.58E-06	15.47	1.96E-05	1508.4	1490.0	1499.0	411.9	411.9	-29.0	29.2	15.8	34.3

Tabla E.2. Momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos para viga V-2 (PPR = 0.65).

CARGA TOTAL (kN)	MOMENTOS (kN-m)					DEFLEXIONES REALES Y CURVATURA $\varphi = [M/(Ec I_g FR)]$						ESFUERZOS (MPa)								
												CABLES DE PRESFUERZO			ACERO CONVENCIONAL			CONCRETO		
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	$\Delta$ CL 1 (mm)	$\varphi$ CL 1 (1/mm)	$\Delta$ CL 2 (mm)	$\varphi$ CL 2 (1/mm)	$\Delta$ CL 3 (mm)	$\varphi$ CL 3 (1/mm)	1 CL1	2 AP2	3 CL3	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.71	-1.36E-06	-0.46	-1.17E-06	-0.67	-1.29E-06	1268.7	1268.7	1268.7	-29.7	-37.2	-29.2	0.2	-1.7	0.3
Mpp =	0.48	0.61	0.16	0.61	0.48	-0.61	-1.17E-06	-0.45	-1.11E-06	-0.58	-1.11E-06									
10.08	1.41	1.72	0.54	1.76	1.44	-0.50	-8.04E-07	-0.21	-9.54E-07	-0.29	-7.18E-07	1275.7	1275.0	1274.2	-23.0	-31.6	-29.2	0.0	-1.1	0.9
20.16	2.34	2.84	0.92	2.91	2.41	-0.29	-4.60E-07	0.04	-8.22E-07	0.09	-3.64E-07	1279.1	1278.9	1278.5	-18.9	-24.2	-29.2	0.1	-0.5	1.5
30.24	3.27	3.95	1.30	4.06	3.37	-0.09	-1.14E-07	0.44	-6.84E-07	0.60	-1.59E-08	1283.4	1285.0	1283.9	-14.0	-18.2	-29.2	0.3	0.2	1.9
40.32	4.19	5.07	1.67	5.21	4.33	0.13	2.27E-07	0.82	-5.51E-07	1.07	0.00E+00	1290.1	1292.5	1291.8	-4.9	-7.4	-29.2	0.1	-1.5	2.3
50.41	5.12	6.18	2.05	6.36	5.30	0.39	5.98E-07	1.12	-4.00E-07	1.45	7.15E-07	1289.3	1298.7	1294.5	1.5	-0.6	-29.2	0.5	-1.9	3.0
60.49	6.05	7.30	2.43	7.51	6.26	0.59	9.41E-07	1.37	-2.51E-07	1.82	1.09E-06	1292.8	1299.3	1299.4	5.9	3.4	-29.2	0.7	-1.6	3.3
70.57	6.98	8.41	2.81	8.66	7.22	0.81	1.29E-06	1.61	-1.07E-07	2.21	1.52E-06	1296.8	1306.1	1305.2	14.6	11.2	-29.2	1.0	-2.3	3.8
80.65	7.91	9.53	3.19	9.81	8.19	1.00	1.62E-06	1.82	3.77E-08	2.55	1.86E-06	1298.9	1311.3	1307.6	19.6	17.6	-29.2	1.8	-1.2	4.4
90.73	8.83	10.64	3.57	10.96	9.15	1.25	2.01E-06	2.04	1.86E-07	2.93	2.29E-06	1302.8	1316.5	1313.1	27.7	28.8	-29.2	1.8	-0.1	4.8
100.81	9.76	11.76	3.95	12.11	10.11	1.43	2.32E-06	2.24	3.26E-07	3.33	2.76E-06	1305.8	1321.0	1319.3	32.4	37.8	-29.2	1.9	0.4	5.1
110.89	10.69	12.87	4.33	13.26	11.08	1.64	2.67E-06	2.47	4.84E-07	3.74	3.24E-06	1244.1	1263.0	1329.2	38.1	52.6	-29.2	2.6	0.6	5.6
120.97	11.62	13.99	4.71	14.42	12.04	1.87	3.03E-06	2.68	6.48E-07	4.01	3.64E-06	1245.9	1268.4	1330.8	44.1	60.8	-29.2	3.2	1.2	5.8
131.06	12.55	15.10	5.09	15.57	13.00	2.10	3.41E-06	2.93	8.57E-07	4.40	4.14E-06	1274.9	1286.4	1343.5	58.6		-29.2	6.3	1.0	6.0
141.14	13.48	16.22	5.47	16.72	13.97	2.41	3.89E-06	3.21	1.09E-06	4.88	4.73E-06	1282.4	1292.6	1350.4	65.6		-29.2	6.9	1.6	6.6
151.22	14.40	17.33	5.85	17.87	14.93	2.79	4.49E-06	3.49	1.35E-06	5.37	5.41E-06	1130.9	1301.8	1362.0	76.6	191.8	-29.2	10.7	2.2	7.1
161.30	15.33	18.45	6.23	19.02	15.89	3.17	5.10E-06	3.89	1.68E-06	6.06	6.29E-06	1145.1	1309.2	1375.0	90.7	246.2	-29.2	11.7	3.7	8.8
171.38	16.26	19.56	6.61	20.17	16.86	3.57	5.74E-06	4.21	2.00E-06	6.70	7.17E-06	1207.1		1395.4	102.9	300.7	-29.2	4.1	5.6	10.3
181.46	17.19	20.68	6.99	21.32	17.82	4.02	6.47E-06	4.67	2.42E-06	7.39	8.11E-06	1269.2		1406.4	120.0	324.5	-29.2	5.9	7.7	11.5
191.54	18.12	21.79	7.37	22.47	18.78	4.58	7.33E-06	5.18	2.90E-06	8.08	9.10E-06	1331.2		1419.1	142.4	363.5	-14.6	8.0	6.6	12.4
201.62	19.04	22.91	7.75	23.62	19.75	5.17	8.29E-06	5.65	3.39E-06	8.65	9.97E-06	1393.2		1428.8	171.8	403.5	-29.2	9.3	7.6	13.4
211.71	19.97	24.02	8.12	24.77	20.71	5.89	9.46E-06	6.18	3.95E-06	9.31	1.10E-05	1455.3		1442.9	235.6	411.9	-29.2	24.3	10.7	13.8
221.79	20.90	25.14	8.50	25.92	21.67	6.51	1.05E-05	6.68	4.54E-06	9.96	1.20E-05	1464.7		1453.2	261.1	411.9	-29.2	25.3	10.2	15.1
231.87	21.83	26.25	8.88	27.07	22.64	7.16	1.16E-05	7.16	5.14E-06	10.61	1.30E-05	1469.7		1470.6	250.4	411.9	-29.2	18.2	11.9	16.2
241.95	22.76	27.37	9.26	28.22	23.60	8.33	1.35E-05	7.86	5.95E-06	11.20	1.39E-05	1471.7	1383.7	1470.9	298.1	411.9	-29.2	20.9	13.2	18.1
252.03	23.69	28.48	9.64	29.37	24.56	8.90	1.45E-05	8.30	6.59E-06	11.82	1.49E-05	1471.7	1437.9	1484.8	322.7	411.9	-29.2	21.4	17.0	19.1
262.11	24.61	29.60	10.02	30.52	25.53	9.75	1.59E-05	8.97	7.45E-06	12.50	1.60E-05	1490.0	1444.8	1480.8	357.8	411.9	-29.2	22.6	19.4	20.6
272.19	25.54	30.71	10.40	31.67	26.49	11.72	1.90E-05	10.39	8.94E-06	13.51	1.75E-05	1442.6	1492.3	1535.0	397.1	411.9	-29.2	27.7	23.7	22.9
282.27	26.47	31.83	10.78	32.82	27.45	13.26	2.16E-05	11.64	1.04E-05	14.39	1.89E-05	1465.4	1499.0	1552.6	411.9	411.9	-29.2	29.4	23.9	25.0
292.36	27.40	32.94	11.16	33.98	28.42	14.62	2.39E-05	12.82	1.19E-05	15.29	2.03E-05	1471.7	1525.8	1570.2	411.9	411.9	-29.2	31.2	22.4	26.3
302.44	28.33	34.06	11.54	35.13	29.38	16.26	2.66E-05	14.23	1.36E-05	16.21	2.18E-05	1490.0	1560.9	1587.1	411.9	411.9	-29.2	33.6	22.8	28.2
312.52	29.26	35.17	11.92	36.28	30.34	18.53	3.04E-05	16.19	1.60E-05	17.43	2.37E-05	1578.8	1605.2	1595.4	411.9	411.9	411.9	35.4	23.3	30.9
322.60	30.18	36.29	12.30	37.43	31.31	21.20	3.48E-05	18.43	1.88E-05	18.75	2.57E-05	1595.4	1631.5	1612.1	411.9	411.9	411.9	38.4	24.2	34.8

Tabla E.3. Momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos para viga V-3 (PPR = 0.55).

CARGA TOTAL (kN)	MOMENTOS (kN-m)					DEFLEXIONES REALES Y CURVATURA $\varphi = [M/(Ec I_g FR)]$						ESFUERZOS (MPa)								
												CABLES DE PRESFUERZO			ACERO CONVENCIONAL			CONCRETO		
	CL 1	APOYO 2	CL 2	APOYO 3	CL 3	$\Delta$ CL 1 (mm)	$\varphi$ CL 1 (1/mm)	$\Delta$ CL 2 (mm)	$\varphi$ CL 2 (1/mm)	$\Delta$ CL 3 (mm)	$\varphi$ CL 3 (1/mm)	1 CL1	2 CL2	3 CL3	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.71	-1.36E-06	-0.46	-1.18E-06	-0.67	-1.30E-06	1268.7	1268.7	1268.7	-30.3	-37.9	-29.8	0.1	-1.5	0.3
Mpp =	0.48	0.61	0.16	0.61	0.48	-0.61	-1.18E-06	-0.45	-1.12E-06	-0.58	-1.12E-06									
10.08	1.41	1.72	0.54	1.76	1.44	-0.48	-8.52E-07	-0.16	-1.00E-06	-0.24	-7.79E-07	1262.8	1264.5	1263.5	-37.2	-36.6	-29.8	0.5	0.2	1.8
20.16	2.34	2.84	0.92	2.91	2.41	-0.26	-4.83E-07	0.13	-8.62E-07	0.19	-4.01E-07	1278.8	1282.4	1277.9	-21.6	-20.4	-29.8	-0.2	0.6	2.5
30.24	3.27	3.95	1.30	4.06	3.37	0.04	-1.27E-07	0.60	-7.31E-07	0.68	-1.65E-08	1286.6	1450.1	1283.3	-15.6	-7.5	-29.8	-0.3	1.8	3.6
40.32	4.19	5.07	1.67	5.21	4.33	0.30	2.49E-07	0.97	-5.81E-07	1.15	3.65E-07	1300.6	1465.4	1295.2	-1.0	9.9	-29.8	-0.5	2.2	4.0
50.41	5.12	6.18	2.05	6.36	5.30	0.53	6.16E-07	1.30	-4.22E-07	1.57	7.37E-07	1297.1	1295.9	1292.1	-3.2	16.8	-29.8	-0.2	3.3	5.1
60.49	6.05	7.30	2.43	7.51	6.26	0.77	9.78E-07	1.60	-2.61E-07	1.97	1.10E-06	1302.4	1423.0	1297.0	0.5	27.8	-29.8	-0.1	4.3	5.8
70.57	6.98	8.41	2.81	8.66	7.22	0.93	1.28E-06	1.86	-1.11E-07	2.36	1.52E-06	1308.7	1437.8	1301.2	7.8	41.5	-29.8	0.0	4.9	6.7
80.65	7.91	9.53	3.19	9.81	8.19	1.14	1.61E-06	2.13	3.55E-08	2.74	1.88E-06	1314.1	1526.3	1306.3	13.9	55.8	-29.8	0.3	5.7	7.5
90.73	8.83	10.64	3.57	10.96	9.15	1.36	1.93E-06	2.34	1.97E-07	3.12	2.23E-06	1339.6	1526.3	1329.0	36.0	79.4	-29.8	-0.7	5.8	7.7
100.81	9.76	11.76	3.95	12.11	10.11	1.59	2.28E-06	2.55	3.61E-07	3.49	2.57E-06	1337.2		1330.8	39.6	89.9	-29.8	-0.2	6.8	8.7
110.89	10.69	12.87	4.33	13.26	11.08	1.81	2.61E-06	2.78	5.33E-07	3.91	3.03E-06	1349.7	1289.7	1353.9	62.2	120.1	-29.8	-1.4	7.0	8.6
120.97	11.62	13.99	4.71	14.42	12.04	2.04	2.97E-06	3.01	7.16E-07	4.34	3.51E-06	1350.9		1359.7	67.7	144.5	-29.8	-0.9	7.7	9.5
131.06	12.55	15.10	5.09	15.57	13.00	2.29	3.35E-06	3.27	9.14E-07	4.69	3.95E-06	1346.4	1283.4	1362.0	66.8		-29.8	-0.8	9.1	10.9
141.14	13.48	16.22	5.47	16.72	13.97	2.59	3.80E-06	3.55	1.13E-06	5.17	4.50E-06	1356.7	1290.5	1372.2	77.1		-29.8	-0.2	10.2	11.6
151.22	14.40	17.33	5.85	17.87	14.93	2.93	4.32E-06	3.84	1.40E-06	5.67	5.15E-06	1366.4	1310.5	1376.8	84.7	228.6	-29.8	0.4	11.6	12.6
161.30	15.33	18.45	6.23	19.02	15.89	3.33	4.91E-06	4.20	1.71E-06	6.19	5.84E-06	1374.9	1352.4	1395.1	100.2	265.7	-29.8	0.9	12.8	13.3
171.38	16.26	19.56	6.61	20.17	16.86	3.68	5.46E-06	4.59	2.06E-06	6.74	6.58E-06	1394.8	1350.3	1423.9	124.7	313.5	-29.8	0.8	13.6	13.6
181.46	17.19	20.68	6.99	21.32	17.82	4.09	6.08E-06	4.97	2.44E-06	7.37	7.42E-06	1409.7	1358.7	1440.0	145.8	347.0	-29.8	1.3	14.2	14.0
191.54	18.12	21.79	7.37	22.47	18.78	4.48	6.71E-06	5.43	2.88E-06	8.06	8.34E-06	1451.0	1578.8	1440.7	156.1	364.3	-29.8	2.7	15.4	15.2
201.62	19.04	22.91	7.75	23.62	19.75	4.92	7.39E-06	5.80	3.31E-06	8.65	9.18E-06	1460.2	1578.8	1439.3	162.5	373.5	-29.8	4.1	17.2	16.4
211.71	19.97	24.02	8.12	24.77	20.71	5.56	8.39E-06	6.41	3.90E-06	9.51	1.03E-05	1543.8	1561.6	1507.9	204.0	403.1	-29.8	4.0	17.0	16.9
221.79	20.90	25.14	8.50	25.92	21.67	6.04	9.20E-06	6.89	4.46E-06	10.19	1.13E-05	1537.5	1578.8	1520.8	220.2	411.9	-29.8	5.4	17.9	17.4
231.87	21.83	26.25	8.88	27.07	22.64	6.71	1.03E-05	7.42	5.07E-06	10.77	1.22E-05	1542.7	1578.8	1511.7	225.9	411.9	-29.8	7.8	19.7	19.0
241.95	22.76	27.37	9.26	28.22	23.60	7.36	1.13E-05	7.95	5.73E-06	11.40	1.32E-05	1564.4	1737.6	1525.2	264.3	411.9	-29.8	8.4	19.6	19.0
252.03	23.69	28.48	9.64	29.37	24.56	7.98	1.23E-05	8.58	6.48E-06	12.29	1.44E-05	1604.1	1612.1	1533.6	283.3	411.9	-29.8	9.2	20.6	19.9
262.11	24.61	29.60	10.02	30.52	25.53	8.57	1.33E-05	9.05	7.16E-06	12.71	1.52E-05	1612.2	1630.4	1533.6	298.5	411.9	-29.8	10.6	21.4	20.6
272.19	25.54	30.71	10.40	31.67	26.49	9.35	1.46E-05	9.70	8.02E-06	13.34	1.62E-05	1613.2	1630.4	1551.1	327.5	411.9	-29.8	12.1	21.7	21.1
282.27	26.47	31.83	10.78	32.82	27.45	10.16	1.60E-05	10.37	8.94E-06	13.98	1.73E-05	1622.4	1648.8	1560.2	357.5	411.9	-29.8	13.7	22.6	22.1
292.36	27.40	32.94	11.16	33.98	28.42	11.10	1.75E-05	11.17	9.99E-06	14.73	1.85E-05	1634.4	1561.6	1543.6	373.8	411.9	-29.8	16.0	24.0	23.6
302.44	28.33	34.06	11.54	35.13	29.38	11.93	1.88E-05	11.87	1.10E-05	15.29	1.94E-05	1634.4	1561.6	1543.6	387.7	411.9	-29.8	17.7	24.3	26.5
312.52	29.26	35.17	11.92	36.28	30.34	13.05	2.07E-05	12.86	1.23E-05	16.03	2.06E-05	1652.5	1578.8	1569.9	402.7	411.9	-29.8	19.1	24.2	28.4
322.60	30.18	36.29	12.30	37.43	31.31	14.31	2.27E-05	13.96	1.38E-05	16.74	2.18E-05	1655.6	1595.4	1578.5	411.9	411.9	-29.8	21.6	24.6	30.8
332.68	31.11	37.40	12.68	38.58	32.27	15.92	2.54E-05	15.79	1.61E-05	18.08	2.38E-05	1673.7	1595.4	1595.4	411.9	411.9	-29.8	24.3	25.1	33.8
342.76	32.04	38.52	13.06	39.73	33.23	17.24	2.75E-05	17.19	1.80E-05	18.99	2.52E-05	1678.7	1612.1	1603.8	411.9	411.9	-29.8	26.8	25.7	36.3
352.84	32.97	39.63	13.44	40.88	34.20	18.79	3.01E-05	18.91	2.04E-05	20.08	2.70E-05	1690.7	1630.4	1621.3	411.9	411.9	-29.8	29.7	26.0	39.3

Tabla E.4. Momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos para viga V-4 (PPR = 0.79).

CARGA TOTAL (kN)	MOMENTOS (kN-m)					DEFLEXIONES REALES Y CURVATURA $\varphi = [M/(Ec I_g FR)]$						ESFUERZOS (MPa)								
												CABLES DE PRESFUERZO			ACERO CONVENCIONAL			CONCRETO		
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	$\Delta$ CL 1 (mm)	$\varphi$ CL 1 (1/cm)	$\Delta$ CL 2 (mm)	$\varphi$ CL 2 (1/cm)	$\Delta$ CL 3 (mm)	$\varphi$ CL 3 (1/cm)	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.56	-1.13E-06	-0.36	-9.74E-07	-0.53	-1.07E-06	1268.7	1268.7	1268.7	-24.5	-30.4	-24.3	0.5	-1.6	0.6
Mpp =	0.59	0.75	0.19	0.75	0.59	-0.47	-9.40E-07	-0.36	-9.15E-07	-0.44	-8.88E-07									
10.08	1.52	1.86	0.57	1.90	1.55	-0.37	-6.34E-07	-0.07	-8.14E-07	-0.18	-5.97E-07	1277.1	1276.2	1275.3	-15.6	-26.8	-20.7	0.2	-1.5	1.3
20.16	2.44	2.98	0.95	3.05	2.52	-0.18	-3.52E-07	0.22	-6.90E-07	0.18	-2.91E-07	1278.5	1278.9	1274.9	-11.8	-22.0	-13.5	0.8	0.6	1.9
30.24	3.37	4.09	1.32	4.20	3.48	0.06	-6.36E-08	0.61	-6.03E-07	0.55	2.14E-08	1284.5	1282.7	1279.0	-6.6	-16.4	-7.7	0.9	1.9	2.4
40.32	4.30	5.21	1.70	5.35	4.44	0.29	2.28E-07	0.97	-4.57E-07	0.90	3.48E-07	1285.8	1283.4	1279.5	-4.3	-15.4	-1.9	1.1	3.4	3.0
50.41	5.23	6.32	2.08	6.50	5.41	0.50	5.20E-07	1.29	-3.32E-07	1.25	6.68E-07	1286.4	1286.1	1279.2	-1.6	-10.6	4.3	1.8	4.9	3.6
60.49	6.16	7.44	2.46	7.65	6.37	0.69	8.08E-07	1.58	-2.03E-07	1.55	9.67E-07	1289.5	1288.1	1282.3	3.2	-5.0	12.1	2.0	6.1	4.1
70.57	7.09	8.55	2.84	8.80	7.33	0.85	1.12E-06	1.85	-8.43E-08	1.87	1.27E-06	1293.4	1291.0	1285.2	8.1	-1.5	19.1	2.2	7.0	4.3
80.65	8.01	9.67	3.22	9.95	8.30	1.01	1.38E-06	2.13	3.98E-08	2.20	1.58E-06	1295.8	1291.9	1287.9	15.9	4.1	30.3	2.3	7.7	5.1
90.73	8.94	10.78	3.60	11.10	9.26	1.17	1.64E-06	2.36	1.67E-07	2.46	1.84E-06	1300.7	1296.5	1291.0	19.8	6.3	40.7	2.3	9.1	5.3
100.81	9.87	11.89	3.98	12.25	10.22	1.29	1.93E-06	2.61	3.02E-07	2.77	2.14E-06	1302.9	1300.2	1294.7	23.1	13.3	58.5	2.1	9.9	5.8
110.89	10.80	13.01	4.36	13.40	11.19	1.44	2.25E-06	2.87	4.67E-07	3.20	2.58E-06	1307.4	1305.8	1297.9	30.6	24.9	76.3	2.2	10.8	6.3
120.97	11.73	14.12	4.74	14.55	12.15	1.77	2.59E-06	3.11	6.46E-07	3.76	3.10E-06	1315.0	1311.4	1305.8	65.4	45.5	93.7	2.0	10.3	6.8
131.06	12.66	15.24	5.12	15.70	13.11	2.05	3.04E-06	3.47	8.81E-07	4.41	3.79E-06	1323.3	1320.1	1319.5	97.2		114.9	1.9	10.9	7.6
141.14	13.58	16.35	5.50	16.85	14.08	2.36	3.41E-06	3.84	1.15E-06	5.22	4.71E-06	1328.3	1324.6	1325.8	117.8		135.3	2.1	11.6	8.3
151.22	14.51	17.47	5.88	18.00	15.04	2.77	4.06E-06	4.20	1.44E-06	6.11	5.72E-06	1340.4	1340.2	1339.1	150.5	198.1	163.5	2.2	10.5	8.9
161.30	15.44	18.58	6.26	19.16	16.00	3.20	4.76E-06	4.57	1.76E-06	6.99	6.78E-06	1343.8	1344.2	1344.8	172.3	294.1	187.1	3.2	11.8	10.2
171.38	16.37	19.70	6.64	20.31	16.97	3.86	5.86E-06	5.02	2.16E-06	7.80	7.80E-06	1356.8	1358.2	1355.7	188.6	367.3	193.5	2.7	12.7	10.2
181.46	17.30	20.81	7.02	21.46	17.93	5.01	7.55E-06	5.74	2.68E-06	8.80	9.07E-06	1350.3	1372.8	1368.4	260.7	411.9	259.9	5.5	14.4	11.6
191.54	18.22	21.93	7.40	22.61	18.89	5.79	8.85E-06	6.38	3.24E-06	9.63	1.02E-05	1358.2	1396.8	1383.1	311.3	411.9	298.5	6.3	15.3	12.0
201.62	19.15	23.04	7.77	23.76	19.86	6.80	1.04E-05	7.23	3.93E-06	10.86	1.18E-05	1343.1	1418.3	1405.2	341.9	411.9	327.5	7.3	16.8	12.8
211.71	20.08	24.16	8.15	24.91	20.82	8.05	1.25E-05	8.17	4.75E-06	11.90	1.32E-05	1348.7	1428.3	1431.0	370.8	411.9	398.3	8.3	18.2	12.5
221.79	21.01	25.27	8.53	26.06	21.78	8.98	1.41E-05	9.06	5.61E-06	13.23	1.50E-05	1355.7	1457.2	1447.3	404.0	411.9	411.9	9.7	23.4	13.7
231.87	21.94	26.39	8.91	27.21	22.75	10.28	1.63E-05	10.20	6.70E-06	14.76	1.71E-05	1351.2	1478.3	1452.2	411.9	411.9	411.9	10.3	26.3	15.5
241.95	22.87	27.50	9.29	28.36	23.71	11.58	1.84E-05	11.39	7.87E-06	16.46	1.93E-05	1351.9	1512.2	1475.8	411.9	411.9	411.9	12.4	27.7	17.0
252.03	23.79	28.62	9.67	29.51	24.67	13.24	2.12E-05	12.90	9.36E-06	18.74	2.23E-05	1349.4	1533.6	1500.1	411.9	411.9	411.9	15.7	29.8	17.5
262.11	24.72	29.73	10.05	30.66	25.64	15.22	2.45E-05	14.39	1.09E-05	20.38	2.47E-05	1345.0	1560.2		411.9	411.9	411.9	19.5	31.1	19.5
272.19	25.65	30.85	10.43	31.81	26.60	18.00	2.92E-05	16.82	1.34E-05	23.01	2.84E-05	1348.0	1605.4		411.9	411.9	411.9	23.7	29.7	22.1
282.27	26.58	31.96	10.81	32.96	27.56	21.54	3.53E-05	20.33	1.71E-05	26.50	3.33E-05	1355.1	1652.8		411.9	411.9	411.9	28.9	30.6	26.8

Tabla E.5. Momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos para viga V-5 (PPR = 0.65).

CARGA TOTAL (kN)	MOMENTOS (kN-m)					DEFLEXIONES REALES Y CURVATURA $\varphi = [M/(Ec I_g FR)]$						ESFUERZOS (MPa)								
												CABLES DE PRESFUERZO			ACERO CONVENCIONAL			CONCRETO		
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	$\Delta$ CL 1 (mm)	$\varphi$ CL 1 (1/mm)	$\Delta$ CL 2 (mm)	$\varphi$ CL 2 (1/mm)	$\Delta$ CL 3 (mm)	$\varphi$ CL 3 (1/mm)	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.56	-1.10E-06	-0.36	-9.53E-07	-0.53	-1.05E-06	1268.7	1268.7	1268.7	-24.3	-30.3	-24.1	0.5	-1.6	0.6
Mpp =	0.59	0.75	0.19	0.75	0.59	-0.47	-9.20E-07	-0.36	-8.96E-07	-0.44	-8.69E-07									
10.07	1.52	1.86	0.57	1.90	1.55	-0.35	-6.48E-07	-0.12	-7.88E-07	-0.21	-5.67E-07	1269.3	1270.9	1272.0	-13.4	-19.7	-20.1	0.5	-1.4	0.3
20.15	2.44	2.97	0.94	3.04	2.51	-0.14	-3.44E-07	0.13	-6.60E-07	0.12	-2.74E-07	1267.2	1273.5	1275.0	-4.8	-14.1	-18.7	0.8	-1.2	0.9
30.22	3.37	4.09	1.32	4.20	3.48	0.09	-6.27E-08	0.36	-5.50E-07	0.37	1.84E-08	1270.1	1274.9	1277.7	2.0	-10.3	-15.1	0.8	-0.8	1.1
40.31	4.30	5.20	1.70	5.35	4.44	0.35	2.26E-07	0.71	-4.47E-07	0.78	3.20E-07	1267.2	1275.3	1278.2	5.7	-6.3	-12.5	1.1	-0.3	1.2
50.38	5.23	6.32	2.08	6.49	5.40	0.56	5.10E-07	1.00	-3.31E-07	1.10	6.19E-07	1270.7	1276.6	1280.9	12.8	-1.3	-9.1	1.3	0.2	1.4
60.46	6.15	7.43	2.46	7.65	6.37	0.74	7.71E-07	1.26	-2.05E-07	1.48	9.37E-07	1271.4	1277.0	1280.7	17.1	2.7	-6.7	1.5	0.8	1.9
70.53	7.08	8.55	2.84	8.80	7.33	0.95	1.10E-06	1.47	-8.06E-08	1.75	1.22E-06	1273.2	1279.1	1281.9	25.2	7.7	-1.9	1.6	1.3	2.0
80.61	8.01	9.66	3.22	9.94	8.29	1.13	1.36E-06	1.70	3.73E-08	2.05	1.50E-06	1272.8	1280.1	1284.4	32.4	13.7	-1.5	1.7	1.8	2.1
90.68	8.94	10.77	3.60	11.10	9.25	1.31	1.65E-06	1.91	1.60E-07	2.36	1.79E-06	1252.4	1289.5	1291.6	48.9	45.1	2.9	0.8	2.4	1.9
100.75	9.87	11.89	3.98	12.25	10.22	1.48	1.94E-06	2.10	2.88E-07	2.67	2.08E-06	1251.6	1289.5	1294.0	53.8	47.1	6.1	1.0	3.1	2.2
110.83	10.79	13.00	4.36	13.39	11.18	1.68	2.29E-06	2.30	4.47E-07	2.95	2.46E-06	1268.4	1295.7	1303.8	72.2	64.3	9.1	0.1	3.6	2.7
120.91	11.72	14.12	4.74	14.55	12.14	1.96	2.73E-06	2.47	5.93E-07	3.26	2.83E-06	1258.4	1297.8	1304.1	78.4	68.1	12.3	0.5	4.2	2.9
130.99	12.65	15.23	5.12	15.70	13.11	2.27	3.22E-06	2.66	7.48E-07	3.61	3.24E-06	1261.0	1298.5	1305.3	89.8		14.9	1.1	5.1	3.4
141.06	13.58	16.35	5.50	16.84	14.07	2.63	3.79E-06	2.85	9.10E-07	4.07	3.80E-06	1262.8	1299.9	1307.7	123.2		18.5	1.9	5.7	4.1
151.14	14.50	17.46	5.88	18.00	15.03	3.13	4.54E-06	3.09	1.10E-06	4.68	4.52E-06	1325.1	1308.5	1308.8	179.3	111.7	21.5	1.9	6.6	4.7
161.21	15.43	18.57	6.25	19.15	15.99	3.69	5.38E-06	3.43	1.34E-06	5.31	5.30E-06	1328.0	1308.0	1308.1	202.2	181.5	27.5	2.8	7.4	5.4
171.29	16.36	19.69	6.63	20.29	16.96	4.39	6.45E-06	3.81	1.62E-06	5.99	6.14E-06	1340.7	1307.2	1310.8	231.8	278.9	30.5	3.8	8.9	6.1
181.36	17.29	20.80	7.01	21.45	17.92	4.88	7.26E-06	4.16	1.90E-06	6.53	6.90E-06	1350.1	1309.7	1311.4	263.2	314.7	37.5	4.7	10.4	7.1
191.45	18.21	21.92	7.39	22.60	18.88	5.66	8.47E-06	4.67	2.31E-06	7.23	7.83E-06	692.5	1322.4	1317.1	303.9	409.4	41.5	5.5		7.9
201.52	19.14	23.03	7.77	23.74	19.84	6.32	9.55E-06	5.16	2.73E-06	7.82	8.68E-06	709.9	1323.2	1318.4	336.8	411.9	61.5	7.0	13.3	9.5
211.59	20.07	24.15	8.15	24.90	20.81	6.98	1.06E-05	5.71	3.22E-06	8.47	9.60E-06	725.1	1323.7	1319.5	370.1	411.9	78.5	8.2	14.7	10.4
221.67	21.00	25.26	8.53	26.05	21.77	7.82	1.20E-05	6.28	3.75E-06	9.16	1.06E-05	705.5	1323.2	1319.7	402.5	411.9	93.1	9.5	16.8	11.1
231.74	21.93	26.38	8.91	27.19	22.73	8.59	1.33E-05	6.94	4.36E-06	9.90	1.17E-05	1224.7	1331.0	1321.7	411.9	411.9	137.7	10.4	18.6	12.8
241.82	22.85	27.49	9.29	28.35	23.70	9.18	1.43E-05	7.54	4.98E-06	10.54	1.26E-05	1224.3	1330.8	1321.2	411.9	411.9	157.7	11.7	20.1	13.6
251.89	23.78	28.60	9.67	29.50	24.66	9.99	1.57E-05	8.19	5.68E-06	11.22	1.37E-05	1229.1	1332.2	1325.3	411.9	411.9	198.0	13.0	21.8	15.6
261.97	24.71	29.72	10.05	30.64	25.62	10.86	1.72E-05	8.94	6.47E-06	11.99	1.49E-05	1229.5	1332.2	1325.6	411.9	411.9	241.8	14.4	24.5	16.5
272.05	25.64	30.83	10.43	31.80	26.58	11.74	1.87E-05	9.70	7.34E-06	12.78	1.60E-05	1373.5	1334.9	1329.7	411.9	411.9	293.4	14.9	26.1	17.5
282.13	26.56	31.95	10.80	32.95	27.55	13.00	2.08E-05	10.76	8.48E-06	13.51	1.72E-05	1372.6	1334.9	1330.4	411.9	411.9	353.6	17.1	28.6	19.3
292.20	27.49	33.06	11.18	34.09	28.51	13.91	2.24E-05	11.77	9.64E-06	14.55	1.88E-05	1368.2	1334.5	1333.9	411.9	411.9	407.4	18.2	29.9	20.7
302.27	28.42	34.18	11.56	35.25	29.47	15.27	2.47E-05	12.99	1.10E-05	15.48	2.02E-05	1368.2	1334.3	1337.3	411.9	411.9	411.9	20.0	31.7	22.0
312.35	29.35	35.29	11.94	36.40	30.44	17.58	2.86E-05	14.84	1.30E-05	16.83	2.22E-05	1309.9	1334.3	1345.1	411.9	411.9	411.9	23.5	30.6	22.7

Tabla E.6. Momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos para viga V-6 (PPR = 0.55).

CARGA TOTAL (kN)	MOMENTOS (kN-m)					DEFLEXIONES REALES Y CURVATURA $\varphi = [M/(Ec I_g FR)]$						ESFUERZOS (MPa)								
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	$\Delta$ CL 1 (mm)	$\varphi$ CL 1 (1/mm)	$\Delta$ CL 2 (mm)	$\varphi$ CL 2 (1/mm)	$\Delta$ CL 3 (mm)	$\varphi$ CL 3 (1/mm)	CABLES DE PRESFUERZO			ACERO CONVENCIONAL			CONCRETO		
												1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.56	-1.09E-06	-0.36	-9.43E-07	-0.53	-1.04E-06	1268.7	1268.7	1268.7	-24.4	-30.4	-24.2	0.5	-1.6	0.6
Mpp =	0.59	0.75	0.19	0.75	0.59	-0.47	-9.11E-07	-0.36	-8.87E-07	-0.44	-8.60E-07									
10.08	1.52	1.86	0.57	1.90	1.55	-0.38	-6.41E-07	-0.11	-9.08E-07	-0.14	-5.69E-07	1269.7	1281.2	1272.5	-14.2	-18.7	-13.1	0.4	0.4	0.6
20.16	2.44	2.98	0.95	3.05	2.52	-0.22	-3.45E-07	0.14	-6.92E-07	0.25	-2.76E-07	1274.9	1285.8	1274.4	-7.8	-14.3	-8.2	0.4	3.2	0.6
30.24	3.37	4.09	1.32	4.20	3.48	0.00	-6.17E-08	0.45	-5.41E-07	0.66	2.07E-08	1279.1	1289.7	1276.8	-3.8	-9.9	-3.7	0.4	5.9	0.6
40.32	4.30	5.21	1.70	5.35	4.44	0.22	2.28E-07	0.81	-4.44E-07	1.09	3.29E-07	1280.3	1290.5	1275.9	-2.8	-9.1	0.4	1.1	8.5	0.6
50.41	5.23	6.32	2.08	6.50	5.41	0.42	5.24E-07	1.11	-3.25E-07	1.45	6.25E-07	1283.2	1291.7	1280.1	5.4	-6.1	5.9	1.2	9.8	0.6
60.49	6.16	7.44	2.46	7.65	6.37	0.60	8.10E-07	1.39	-2.01E-07	1.83	9.18E-07	1284.5	1293.9	1284.5	8.4	-3.3	10.2	1.5	11.2	0.6
70.57	7.09	8.55	2.84	8.80	7.33	0.80	1.10E-06	1.66	-8.03E-08	2.22	1.22E-06	1287.6	1296.8	1286.2	6.8	-0.1	16.9	1.6	12.3	0.6
80.65	8.01	9.67	3.22	9.95	8.30	0.94	1.35E-06	1.89	3.75E-08	2.54	1.48E-06	1290.1	1297.9	1285.5	10.2	2.8	22.9	2.1	13.3	0.6
90.73	8.94	10.78	3.60	11.10	9.26	1.09	1.75E-06	2.14	1.51E-07	2.97	1.79E-06	1292.2	1306.5	1292.9	15.0	13.8	35.7	2.1	13.9	0.6
100.81	9.87	11.89	3.98	12.25	10.22	1.24	2.01E-06	2.37	2.72E-07	3.35	2.08E-06	1294.7	1309.5	1294.4	20.4	18.7	43.9	2.4	15.0	0.6
110.89	10.80	13.01	4.36	13.40	11.19	1.32	2.19E-06	2.46	3.84E-07	3.58	2.38E-06	1328.7	1311.7	1299.9	29.0	23.6	48.6	1.2	15.8	0.6
120.97	11.73	14.12	4.74	14.55	12.15	1.53	2.53E-06	2.80	5.35E-07	4.17	2.91E-06	1364.7	1315.8	1302.6	36.4	31.8	58.5	2.4	17.6	0.6
131.06	12.66	15.24	5.12	15.70	13.11	1.67	2.79E-06	3.01	6.99E-07	4.60	3.43E-06	1358.7	1325.2	1332.7	39.0		47.8	2.1	18.4	0.6
141.14	13.58	16.35	5.50	16.85	14.08	1.82	3.06E-06	3.24	8.79E-07	5.04	3.97E-06	1367.2	1329.4	1335.3	50.0		58.7	2.1	19.2	0.6
151.22	14.51	17.47	5.88	18.00	15.04	2.03	3.43E-06	3.58	1.11E-06	5.55	4.55E-06	1372.2	1339.0	1344.9	59.2	93.6	65.9	1.8	20.3	0.6
161.30	15.44	18.58	6.26	19.16	16.00	2.27	3.83E-06	3.93	1.35E-06	6.06	5.19E-06	1374.3	1344.9	1348.2	62.8	121.6	86.7	2.2	21.7	0.6
171.38	16.37	19.70	6.64	20.31	16.97	2.60	4.38E-06	4.37	1.66E-06	6.63	5.89E-06	1330.3	1358.5	1353.8	71.8	158.3	119.4	2.2	22.8	0.6
181.46	17.30	20.81	7.02	21.46	17.93	2.92	4.92E-06	4.73	1.96E-06	7.15	6.59E-06	1334.5	1365.1	1353.0	76.2	189.6	146.7	3.1	23.6	0.6
191.54	18.22	21.93	7.40	22.61	18.89	3.38	5.67E-06	5.17	2.32E-06	7.75	7.34E-06	1329.5	1365.7	1360.2	95.5	218.9	180.0	3.5	24.2	0.6
201.62	19.15	23.04	7.77	23.76	19.86	3.90	6.54E-06	5.62	2.71E-06	8.35	8.13E-06	1340.8	1377.0	1360.2	115.5	256.4	214.7	4.5	26.5	0.6
211.71	20.08	24.16	8.15	24.91	20.82	4.48	7.50E-06	6.18	3.18E-06	8.96	8.96E-06	1399.3	1391.5	1354.0	169.7	307.6	229.0	5.9	28.8	0.6
221.79	21.01	25.27	8.53	26.06	21.78	4.98	8.34E-06	6.67	3.65E-06	9.50	9.73E-06	1404.1	1400.9	1353.7	209.1	341.5	258.3	6.5	30.4	0.6
231.87	21.94	26.39	8.91	27.21	22.75	5.52	9.28E-06	7.13	4.13E-06	10.05	1.05E-05	1420.5	1418.6	1359.4	241.7	363.8	294.6	6.9	31.5	0.6
241.95	22.87	27.50	9.29	28.36	23.71	6.04	1.02E-05	7.63	4.67E-06	10.67	1.14E-05	1426.8	1429.2	1360.3	248.7	384.9	317.6	7.9	33.1	0.6
252.03	23.79	28.62	9.67	29.51	24.67	6.62	1.12E-05	8.18	5.26E-06	11.39	1.24E-05	1434.9	1444.0	1369.6	280.5	400.4	353.7	8.8	34.7	0.6
262.11	24.72	29.73	10.05	30.66	25.64	7.11	1.21E-05	8.59	5.79E-06	11.77	1.30E-05	1443.0	1453.9	1370.2	312.3	411.9	373.8	9.6	35.9	0.6
272.19	25.65	30.85	10.43	31.81	26.60	7.64	1.30E-05	9.24	6.51E-06	12.56	1.41E-05	1445.1	1458.8	1380.7	325.5	411.9	397.5	10.5	37.9	0.6
282.27	26.58	31.96	10.81	32.96	27.56	8.18	1.40E-05	9.89	7.26E-06	13.29	1.52E-05	1447.2	1477.0	1391.3	338.9	411.9	411.9	11.3	40.1	0.6
292.36	27.51	33.08	11.19	34.11	28.53	8.77	1.50E-05	10.50	8.02E-06	13.90	1.62E-05	1458.3	1483.1	1394.5	354.1	411.9	411.9	12.3	41.9	0.6
302.44	28.43	34.19	11.57	35.26	29.49	9.34	1.61E-05	11.10	8.81E-06	14.50	1.71E-05	1462.0	1490.0		377.3	411.9	411.9	13.4	43.3	0.6
312.52	29.36	35.31	11.95	36.41	30.45	10.12	1.75E-05	11.89	9.78E-06	15.22	1.82E-05	1462.4	1499.0		402.9	411.9	411.9	14.1	44.5	0.6
322.60	30.29	36.42	12.33	37.57	31.42	10.91	1.89E-05	12.82	1.10E-05	15.98	1.94E-05	1471.7	1517.2		411.9	411.9	411.9	15.5	46.9	0.6
332.68	31.22	37.54	12.71	38.72	32.38	11.80	2.04E-05	13.93	1.22E-05	16.79	2.06E-05	1490.0	1544.0		411.9	411.9	411.9	16.0	48.6	0.6
342.76	32.15	38.65	13.09	39.87	33.34	12.64	2.20E-05	15.34	1.39E-05	17.92	2.22E-05	1526.3	1570.2	1421.6	411.9	411.9	411.9	17.4	50.5	0.6
352.84	33.08	39.77	13.47	41.02	34.31	14.06	2.44E-05	17.61	1.64E-05	19.50	2.44E-05	1544.3	1595.4	1433.9	411.9	411.9	411.9	18.4	53.2	0.6

Tabla E.7. Momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos para viga V-7 (PPR = 0.79).

CARGA TOTAL (kN)	MOMENTOS (kN-m)					DEFLEXIONES REALES Y CURVATURA $\varphi = [M/(E_c I_g FR)]$						ESFUERZOS (MPa)								
												CABLES DE PRESFUERZO			ACERO CONVENCIONAL			CONCRETO		
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	$\Delta$ CL 1 (mm)	$\varphi$ CL 1 (1/mm)	$\Delta$ CL 2 (mm)	$\varphi$ CL 2 (1/mm)	$\Delta$ CL 3 (mm)	$\varphi$ CL 3 (1/mm)	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.64	-1.30E-06	-1.07	-1.00E-06	-0.59	-1.21E-06	1258.3	1258.3	1258.3	-29.7	-37.6	-25.1	0.2	-1.8	1.1
Mpp =	0.33	1.03	0.70	1.03	0.33	-0.60	-1.17E-06	-0.81	-7.33E-07	-0.55	-1.08E-06									
10.08	1.15	2.38	1.35	2.41	1.18	-0.30	-8.24E-07	-0.65	-4.67E-07	-0.29	-7.15E-07	1262.2	1263.7	1260.1	-22.7	-32.6	-25.1	1.1	-1.8	1.4
20.16	1.96	3.72	2.00	3.80	2.03	0.05	-5.34E-07	-0.23	-2.26E-07	0.02	-4.07E-07	1264.3	1262.7	1262.0	-15.7	-29.8	-25.1	1.7	-1.8	1.7
30.24	2.77	5.07	2.65	5.18	2.88	0.43	-2.28E-07	0.16	2.07E-08	0.41	-1.06E-07	1264.9	1262.5	1262.7	-9.4	-25.7	-25.1	2.5	-1.8	2.1
40.32	3.58	6.42	3.30	6.56	3.72	0.76	7.81E-08	0.58	2.84E-07	0.77	2.43E-07	1268.3	1265.1	1263.7	-2.6	-21.8	-25.1	3.0	-1.8	2.4
50.41	4.39	7.77	3.95	7.94	4.57	1.01	4.10E-07	0.91	5.53E-07	1.06	5.75E-07	1270.8	1276.4	1266.0	3.6	-15.9	-25.1	3.2	-1.8	2.8
60.49	5.20	9.12	4.61	9.33	5.42	1.23	7.32E-07	1.26	8.01E-07	1.37	9.06E-07	1272.6	1280.6	1268.5	9.6	-11.1	-25.1	3.8	-1.8	3.1
70.57	6.02	10.46	5.26	10.71	6.26	1.50	1.04E-06	1.59	1.04E-06	1.66	1.23E-06	1280.4	1282.7	1269.3	18.7	-1.0	-25.1	3.5	-1.8	3.2
80.65	6.83	11.81	5.91	12.09	7.11	1.76	1.33E-06	1.92	1.28E-06	1.94	1.53E-06	1282.4	1285.2	1270.1	24.4	6.7	-25.1	3.6	-1.8	3.8
90.73	7.64	13.16	6.56	13.47	7.96	2.09	1.76E-06	2.31	1.60E-06	2.22	1.95E-06	1282.6	1287.5	1272.2	30.8	16.3	-25.1	4.6	-1.8	4.1
100.81	8.45	14.51	7.21	14.86	8.81	2.43	2.22E-06	2.72	1.94E-06	2.52	2.39E-06	1285.1	1295.4	1274.1	37.9	30.3	-25.1	4.9	-1.8	4.9
110.89	9.26	15.85	7.86	16.24	9.65	2.87	2.77E-06	3.20	2.34E-06	2.81	2.85E-06	1290.6	1317.2	1277.6	52.8	45.6	-25.1	5.1	-1.8	5.3
120.97	10.07	17.20	8.51	17.62	10.50	3.55	3.59E-06	3.72	2.77E-06	3.11	3.33E-06	1293.7	1328.5	1280.8	99.3	88.3	-25.1	10.1	-1.8	5.8
131.06	10.89	18.55	9.17	19.00	11.35	4.40	4.63E-06	4.24	3.21E-06	3.54	3.94E-06	1299.3	1329.3	1282.6	135.9		-25.1	13.0	-1.8	6.3
141.14	11.70	19.90	9.82	20.39	12.19	5.21	5.69E-06	4.77	3.67E-06	4.06	4.67E-06	1303.5	1339.4	1284.3	171.2		-25.1	14.0	-1.8	6.7
151.22	12.51	21.25	10.47	21.77	13.04	6.16	6.94E-06	5.53	4.32E-06	4.77	5.63E-06	1305.8	1350.4	1292.9	253.5	284.0	-25.1	15.7	-1.8	8.1
161.30	13.32	22.59	11.12	23.15	13.89	7.22	8.37E-06	6.43	5.07E-06	5.53	6.69E-06	1307.9	1366.1	1301.4	335.1	327.8	-25.1	17.1	-1.8	8.7
171.38	14.13	23.94	11.77	24.54	14.74	8.42	1.00E-05	7.72	6.12E-06	6.70	8.25E-06	1325.6	1371.0	1317.0	405.6	353.3	-25.1	20.2	-1.8	9.4
181.46	14.94	25.29	12.42	25.92	15.58	9.53	1.16E-05	8.91	7.14E-06	7.84	9.86E-06	1329.1	1392.3	1332.4	411.9	378.8	-25.1	22.3	-1.8	10.2
191.54	15.76	26.64	13.07	27.30	16.43	11.17	1.39E-05	11.07	8.98E-06	9.87	1.26E-05	1360.4	1430.5	1361.6	411.9	411.9	-12.5	22.3	-1.8	11.3
201.62	16.57	27.98	13.73	28.68	17.28	12.96	1.65E-05	13.40	1.10E-05	11.96	1.56E-05	1362.9	1461.5	1390.8	411.9	411.9	-25.1	24.6	-1.8	13.1
211.71	17.38	29.33	14.38	30.07	18.12	14.96	1.94E-05	16.02	1.33E-05	14.20	1.88E-05	1335.4	1471.7	1412.9	411.9	411.9	-25.1		-1.8	16.3
221.79	18.19	30.68	15.03	31.45	18.97	17.04	2.25E-05	18.93	1.58E-05	16.58	2.24E-05	1338.5	1490.0	1435.0	411.9	411.9	-25.1		-1.8	19.4
231.87	19.00	32.03	15.68	32.83	19.82	20.86	2.80E-05	23.30	1.95E-05	19.63	2.68E-05	1359.1	1526.3	1441.6	411.9	411.9	-25.1		-1.8	22.1

Tabla E.8. Momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos para viga V-8 (PPR = 0.65).

CARGA TOTAL (kN)	MOMENTOS (kN-m)					DEFLEXIONES REALES Y CURVATURA $\varphi = [M/(Ec I_g FR)]$						ESFUERZOS (MPa)								
												CABLES DE PRESFUERZO			ACERO CONVENCIONAL			CONCRETO		
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	$\Delta$ CL 1 (mm)	$\varphi$ CL 1 (1/mm)	$\Delta$ CL 2 (mm)	$\varphi$ CL 2 (1/mm)	$\Delta$ CL 3 (mm)	$\varphi$ CL 3 (1/mm)	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.64	-1.35E-06	-1.07	-1.04E-06	-0.59	-1.26E-06	1258.3	1258.3	1258.3	-31.4	-39.6	-26.5	0.2	-1.8	1.1
Mpp =	0.33	1.03	0.70	1.03	0.33	-0.60	-1.22E-06	-0.81	-7.63E-07	-0.55	-1.13E-06									
10.08	1.15	2.38	1.35	2.41	1.18	-0.32	-6.42E-07	-0.61	-4.09E-07	-0.58	-7.85E-07	1266.8	1258.3	1264.5	-31.4	-33.2	-26.5	0.6	-1.8	1.9
20.16	1.96	3.72	2.00	3.80	2.03	-0.01	-4.06E-07	-0.14	-1.98E-07	-0.58	-4.45E-07	1268.7	1258.3	1281.8	-31.4	-31.8	-26.5	1.4	-1.8	2.3
30.24	2.77	5.07	2.65	5.18	2.88	0.44	-1.97E-07	0.42	1.83E-08	-0.69	-1.06E-07	1274.7	1258.3	1278.5	-31.4	-26.2	-26.5	1.7	-1.8	3.0
40.32	3.58	6.42	3.30	6.56	3.72	0.78	6.69E-08	0.87	2.42E-07	-0.35	2.34E-07	1278.1	1258.3	1285.1	-31.4	-24.0	-26.5	2.4	-1.8	3.7
50.41	4.39	7.77	3.95	7.94	4.57	1.08	3.64E-07	1.28	5.65E-07	0.00	5.74E-07	1280.2	1258.3	1289.3	-31.4	-19.0	-26.5	2.8	-1.8	-2.9
60.49	5.20	9.12	4.61	9.33	5.42	1.35	7.09E-07	1.64	8.05E-07	0.34	9.14E-07	1288.3	1258.3	1298.7	-31.4	-10.2	-26.5	2.4	-1.8	-9.2
70.57	6.02	10.46	5.26	10.71	6.26	1.60	1.10E-06	2.02	1.07E-06	0.66	1.44E-06	1291.6	1258.3	1313.1	-31.4	-5.0	-26.5	2.9	-1.8	-2.7
80.65	6.83	11.81	5.91	12.09	7.11	1.85	1.40E-06	2.39	1.31E-06	1.02	2.05E-06	1294.7	1258.3	1325.6	-31.4	-3.0	-26.5	3.5	-1.8	0.2
90.73	7.64	13.16	6.56	13.47	7.96	2.12	1.70E-06	2.78	1.55E-06	1.37	2.68E-06	1396.6	1258.3	1332.7	-31.4	4.4	-26.5	3.8	-1.8	-4.6
100.81	8.45	14.51	7.21	14.86	8.81	2.45	2.04E-06	3.24	1.82E-06	1.74	3.35E-06	1400.8	1258.3	1332.7	-31.4	9.6	-26.5	4.4	-1.8	-3.0
110.89	9.26	15.85	7.86	16.24	9.65	2.84	2.54E-06	3.69	2.08E-06	2.10	4.05E-06	1406.2	1258.3	1336.4	-31.4	18.2	-26.5	4.7	-1.8	3.6
120.97	10.07	17.20	8.51	17.62	10.50	3.27	3.10E-06	4.19	2.37E-06	2.51	4.82E-06	1410.0	1258.3	1341.2	-31.4	28.6	-26.5	5.5	-1.8	4.9
131.06	10.89	18.55	9.17	19.00	11.35	3.76	3.74E-06	4.79	3.16E-06	3.03	5.78E-06	1406.2	1258.3	1370.8	-31.4		-26.5	6.0	-1.8	5.3
141.14	11.70	19.90	9.82	20.39	12.19	4.53	4.66E-06	5.53	3.73E-06	3.54	6.75E-06	1415.8	1258.3	1376.6	-31.4		-26.5	9.2	-1.8	7.5
151.22	12.51	21.25	10.47	21.77	13.04	5.27	5.61E-06	6.30	4.35E-06	4.16	7.92E-06	1396.4	1258.3	1393.7	-31.4	128.5	-26.5	10.3	-1.8	-80.6
161.30	13.32	22.59	11.12	23.15	13.89	6.05	6.66E-06	7.25	5.10E-06	4.91	9.33E-06	1404.5	1258.3	1409.3	-31.4	169.9	-26.5	11.7	-1.8	-78.4
171.38	14.13	23.94	11.77	24.54	14.74	6.93	7.85E-06	8.27	5.91E-06	5.67	1.08E-05	1424.3	1258.3	1413.3	-31.4	203.9	-26.5	12.9	-1.8	-26.4
181.46	14.94	25.29	12.42	25.92	15.58	7.84	9.12E-06	9.23	6.72E-06	6.39	1.22E-05	1436.6	1258.3	1428.7	-31.4	251.3	-26.5	14.1	-1.8	-25.2
191.54	15.76	26.64	13.07	27.30	16.43	8.76	1.04E-05	10.39	7.68E-06	7.39	1.40E-05	1471.7	1258.3	1467.0	-31.4	296.1	-26.5	15.5	-1.8	-2.4
201.62	16.57	27.98	13.73	28.68	17.28	9.73	1.19E-05	11.42	8.58E-06	8.08	1.54E-05	1471.7	1258.3	1469.3	-31.4	338.1	-26.5	17.0	-1.8	-1.2
211.71	17.38	29.33	14.38	30.07	18.12	10.77	1.34E-05	12.65	9.64E-06	9.04	1.73E-05	1508.4	1258.3	1471.7	-31.4	379.9	-26.5	18.5	-1.8	-10.1
221.79	18.19	30.68	15.03	31.45	18.97	11.56	1.47E-05	13.82	1.07E-05	10.06	1.93E-05	1508.4	1258.3	1490.0	-31.4	411.9	-26.5	20.0	-1.8	-9.7



Tabla E.9. Momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos para viga V-9 (PPR = 0.55).

CARGA TOTAL (kN)	MOMENTOS (kN-m)					DEFLEXIONES REALES Y CURVATURA $\varphi = [M/(Ec I_g FR)]$						ESFUERZOS (MPa)								
												CABLES DE PRESFUERZO			ACERO CONVENCIONAL			CONCRETO		
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	$\Delta$ CL 1 (mm)	$\varphi$ CL 1 (1/mm)	$\Delta$ CL 2 (mm)	$\varphi$ CL 2 (1/mm)	$\Delta$ CL 3 (mm)	$\varphi$ CL 3 (1/mm)	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.64	-1.29E-06	-1.07	-9.97E-07	-0.59	-1.20E-06	1258.3	1258.3	1258.3	-30.4	-38.4	-25.6	0.2	-1.8	1.1
Mpp =	0.33	1.03	0.70	1.03	0.33	-0.60	-1.17E-06	-0.81	-7.30E-07	-0.55	-1.08E-06									
10.08	1.15	2.38	1.35	2.41	1.18	-0.39	-8.86E-07	-0.55	-4.77E-07	-0.23	-7.48E-07	1265.5	1269.5	1268.7	-22.5	-31.4	-25.6	0.2	-1.8	1.9
20.16	1.96	3.72	2.00	3.80	2.03	-0.13	-5.60E-07	-0.05	-2.27E-07	0.13	-4.23E-07	1274.0	1277.4	1270.1	-16.4	-29.4	-25.6	0.6	-1.8	2.5
30.24	2.77	5.07	2.65	5.18	2.88	0.16	-2.31E-07	0.58	2.12E-08	0.52	-1.03E-07	1310.5	1289.1	1274.1	-10.1	-27.8	-25.6	0.6	-1.8	3.1
40.32	3.58	6.42	3.30	6.56	3.72	0.45	8.05E-08	1.14	2.88E-07	0.89	2.28E-07	1329.4	1311.6	1280.2	-2.5	-26.2	-25.6	0.5	-1.8	3.6
50.41	4.39	7.77	3.95	7.94	4.57	0.71	3.92E-07	1.68	5.52E-07	1.26	5.60E-07	1320.3	1311.6	1289.9	7.0	-14.6	-25.6	0.2	-1.8	4.3
60.49	5.20	9.12	4.61	9.33	5.42	0.96	6.98E-07	2.14	7.95E-07	1.58	8.72E-07	1341.8	1323.3	1290.6	16.6	-7.4	-25.6	-0.6	-1.8	4.9
70.57	6.02	10.46	5.26	10.71	6.26	1.18	9.87E-07	2.56	1.07E-06	1.91	1.18E-06	1343.7	1334.7	1295.6	21.6	-2.0	-25.6	-0.3	-1.8	4.9
80.65	6.83	11.81	5.91	12.09	7.11	1.40	1.36E-06	3.00	1.35E-06	2.25	1.50E-06	1344.2	1344.7	1297.0	27.5	5.0	-25.6	0.1	-1.8	5.5
90.73	7.64	13.16	6.56	13.47	7.96	1.59	1.63E-06	3.41	1.64E-06	2.59	1.81E-06	1349.7	1361.8	1303.9	37.6	19.6	-25.6	-0.1	-1.8	6.0
100.81	8.45	14.51	7.21	14.86	8.81	1.85	1.95E-06	3.84	1.97E-06	2.94	2.12E-06	1351.4	1372.7	1308.1	42.6	27.0	-25.6	0.0	-1.8	6.7
110.89	9.26	15.85	7.86	16.24	9.65	2.10	2.33E-06	4.30	2.34E-06	3.31	2.45E-06	1362.6	1407.7	1310.0	55.2	44.2	-25.6	0.0	-1.8	7.8
120.97	10.07	17.20	8.51	17.62	10.50	2.43	2.79E-06	4.88	2.78E-06	3.75	2.82E-06	1365.9	1425.0	1318.6	62.2	61.4	-25.6	0.5	-1.8	8.8
131.06	10.89	18.55	9.17	19.00	11.35	2.76	3.25E-06	5.53	3.27E-06	4.23	3.38E-06	1363.1	1453.3	1322.2	73.9		-25.6	0.8	-1.8	9.5
141.14	11.70	19.90	9.82	20.39	12.19	3.11	3.79E-06	6.20	3.79E-06	4.83	4.05E-06	1367.1	1470.0	1330.0	83.4		-25.6	1.6	-1.8	10.5
151.22	12.51	21.25	10.47	21.77	13.04	3.52	4.41E-06	6.86	4.33E-06	5.44	4.77E-06	1377.3	1490.0	1346.7	100.2	150.6	-25.6	2.0	-1.8	11.4
161.30	13.32	22.59	11.12	23.15	13.89	4.00	5.13E-06	7.58	4.91E-06	6.12	5.58E-06	1382.4	1490.0	1351.8	116.1	177.0	-25.6	3.2	-1.8	12.6
171.38	14.13	23.94	11.77	24.54	14.74	4.61	6.04E-06	8.34	5.54E-06	6.78	6.41E-06	1385.9	1508.4	1356.2	134.6	206.4	-25.6	3.8	-1.8	13.3
181.46	14.94	25.29	12.42	25.92	15.58	5.24	6.98E-06	9.43	6.38E-06	7.52	7.35E-06	1397.2	1526.3	1364.0	160.6	248.8	-25.6	5.5	-1.8	14.2
191.54	15.76	26.64	13.07	27.30	16.43	5.93	8.03E-06	10.31	7.12E-06	8.26	8.32E-06	1406.9	1526.3	1379.9	188.3	302.7	-25.6	6.4	-1.8	15.6
201.62	16.57	27.98	13.73	28.68	17.28	6.60	9.09E-06	11.25	7.92E-06	8.96	9.29E-06	1421.3	1544.3	1387.3	212.7	342.7	-25.6	7.7	-1.8	16.2
211.71	17.38	29.33	14.38	30.07	18.12	7.34	1.03E-05	12.22	8.76E-06	9.70	1.03E-05	1425.5	1561.6	1388.7	237.1	381.7	-25.6	8.7	-1.8	16.9
221.79	18.19	30.68	15.03	31.45	18.97	8.06	1.14E-05	13.16	9.58E-06	10.42	1.14E-05	1430.2	1561.6	1395.7	259.7	411.5	-25.6	10.5	-1.8	17.8
231.87	19.00	32.03	15.68	32.83	19.82	8.80	1.27E-05	14.16	1.05E-05	11.24	1.25E-05	1425.8	1578.8	1409.0	287.6	411.9	-25.6	11.4	-1.8	18.0
241.95	19.81	33.37	16.33	34.21	20.67	9.57	1.40E-05	15.23	1.14E-05	12.09	1.38E-05	1432.9	1578.8	1420.5	310.9	411.9	-25.6	13.0	-1.8	19.0
252.03	20.63	34.72	16.98	35.60	21.51	10.33	1.52E-05	16.43	1.25E-05	12.95	1.50E-05	1438.2	1612.1	1421.0	335.5	411.9	-25.6	14.5	-1.8	20.6
262.11	21.44	36.07	17.63	36.98	22.36	11.10	1.65E-05	17.69	1.36E-05	13.79	1.63E-05	1464.7	1630.4	1427.4	365.8	411.9	-25.6	16.7	-1.8	21.5
272.19	22.25	37.42	18.29	38.36	23.21	11.67	1.76E-05	18.91	1.47E-05	14.77	1.78E-05	1482.1	1648.8	1428.6	389.9	411.9	-25.6	18.3	-1.8	22.9
282.27	23.06	38.76	18.94	39.74	24.05	12.60	1.92E-05	20.51	1.61E-05	15.92	1.95E-05	1480.8	1648.8	1442.8	411.9	411.9	-25.6	20.0	-1.8	24.4
292.36	23.87	40.11	19.59	41.13	24.90	13.42	2.06E-05	22.73	1.80E-05	17.43	2.16E-05	1499.2	1666.5	1447.7	411.9	411.9	-25.6	21.8	-1.8	26.4
302.44	24.69	41.46	20.24	42.51	25.75	14.43	2.24E-05	25.20	2.01E-05	19.11	2.40E-05	1508.4	1684.3	1457.0	411.9	411.9	-25.6	23.6	-1.8	28.6
312.52	25.50	42.81	20.89	43.89	26.60	16.01	2.50E-05	27.97	2.25E-05	21.25	2.70E-05	1526.3	1700.2	1469.3	411.9	411.9	-25.6	26.4	-1.8	30.8

Tabla E.10. Momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos para viga V-10 (PPR = 0.79).

CARGA TOTAL (kN)	MOMENTOS (kN-m)					DEFLEXIONES REALES Y CURVATURA $\varphi = [M/(Ec I_g FR)]$						ESFUERZOS (MPa)								
												CABLES DE PRESFUERZO			ACERO CONVENCIONAL			CONCRETO		
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	$\Delta$ CL 1 (mm)	$\varphi$ CL 1 (1/mm)	$\Delta$ CL 2 (mm)	$\varphi$ CL 2 (1/mm)	$\Delta$ CL 3 (mm)	$\varphi$ CL 3 (1/mm)	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.50	-1.10E-06	-0.84	-8.47E-07	-0.46	-1.02E-06	1258.3	1258.3	1258.3	-25.4	-31.5	-21.2	0.5	-1.6	1.2
Mpp =	0.40	1.26	0.84	1.26	0.40	-0.46	-9.68E-07	-0.59	-5.72E-07	-0.42	-8.92E-07									
10.08	1.21	2.60	1.49	2.64	1.25	-0.26	-8.23E-07	-0.12	-4.21E-07	-0.05	-7.03E-07	1258.3	1258.3	1261.4	-9.6	-31.5	-21.2	0.5	-1.0	1.8
20.16	2.03	3.95	2.15	4.02	2.10	-0.02	-4.83E-07	0.60	-1.67E-07	0.36	-3.64E-07	1258.3	1258.3	1263.7	5.4	-31.5	-21.2	0.3	-0.5	2.3
30.24	2.84	5.30	2.80	5.40	2.94	0.34	-1.97E-07	1.30	7.29E-08	0.85	-7.33E-08	1258.3	1258.3	1270.4	25.6	-31.5	-21.2	0.3	0.3	2.9
40.32	3.65	6.65	3.45	6.79	3.79	0.69	9.37E-08	1.93	3.02E-07	1.31	2.35E-07	1258.3	1258.3	1274.3	40.0	-31.5	-21.2	0.4	1.1	3.6
50.41	4.46	7.99	4.10	8.17	4.64	1.03	3.70E-07	2.56	5.23E-07	1.70	5.27E-07	1258.3	1258.3	1277.6	61.6	-31.5	-21.2	-1.1	1.7	4.0
60.49	5.27	9.34	4.75	9.55	5.48	1.35	6.28E-07	3.15	7.32E-07	2.10	8.15E-07	1258.3	1258.3	1281.4	86.8	-31.5	-21.2	-1.5	2.6	4.4
70.57	6.08	10.69	5.40	10.93	6.33	1.72	8.84E-07	3.76	9.41E-07	2.45	1.08E-06	1258.3	1258.3	1285.8	117.0	-31.5	-21.2	-1.1	3.5	5.1
80.65	6.90	12.04	6.06	12.32	7.18	2.07	1.16E-06	4.40	1.15E-06	2.82	1.35E-06	1258.3	1258.3	1288.1	155.4	-31.5	-21.2	-1.1	4.1	5.5
90.73	7.71	13.38	6.71	13.70	8.03	2.42	1.45E-06	5.03	1.43E-06	3.17	1.61E-06	1258.3	1258.3	1290.2	197.9	-31.5	-21.2	-3.3	4.9	6.4
100.81	8.52	14.73	7.36	15.08	8.87	2.71	1.70E-06	5.57	1.69E-06	3.53	1.86E-06	1258.3	1258.3	1291.2	244.9	-31.5	-21.2	-3.2	5.9	6.9
110.89	9.33	16.08	8.01	16.46	9.72	3.03	2.03E-06	6.23	2.05E-06	3.97	2.30E-06	1258.3	1258.3	1292.9	292.7	-31.5	-21.2	-3.9	7.4	7.1
120.97	10.14	17.43	8.66	17.85	10.57	3.48	2.45E-06	7.34	2.58E-06	4.52	2.83E-06	1258.3	1258.3	1294.3	411.9	-31.5	-21.2	-3.4	10.8	7.5
131.06	10.95	18.77	9.31	19.23	11.41	3.95	2.90E-06	8.26	3.09E-06	5.10	3.41E-06	1258.3	1258.3	1287.7	411.9		-21.2	-4.3	12.9	8.6
141.14	11.77	20.12	9.96	20.61	12.26	5.01	3.75E-06	9.23	3.65E-06	5.83	4.13E-06	1258.3	1258.3	1286.8	411.9		-21.2	-3.4	15.4	9.4
151.22	12.58	21.47	10.62	22.00	13.11	5.87	4.62E-06	10.18	4.22E-06	6.56	4.91E-06	1258.3	1258.3	1283.4	411.9	-31.5	-21.2	-2.9	18.0	11.3
161.30	13.39	22.82	11.27	23.38	13.96	6.76	5.57E-06	11.13	4.83E-06	7.33	5.74E-06	1258.3	1258.3	1280.1	411.9	-31.5	-21.2	-0.9	19.9	12.3
171.38	14.20	24.17	11.92	24.76	14.80	7.49	6.48E-06	12.51	5.63E-06	8.21	6.71E-06	1258.3	1258.3	1284.7	411.9	-31.5	-21.2	3.7	23.8	14.2
181.46	15.01	25.51	12.57	26.14	15.65	9.52	8.50E-06	14.42	6.72E-06	9.51	8.06E-06	1258.3	1258.3	1293.9	411.9	-31.5	-21.2	6.9	27.3	15.0
191.54	15.82	26.86	13.22	27.53	16.50	10.68	9.90E-06	16.37	7.88E-06	10.74	9.42E-06	1258.3	1258.3	1311.8	411.9	-31.5	-21.2	11.0	30.2	16.5
201.62	16.64	28.21	13.87	28.91	17.35	13.42	1.27E-05	18.79	9.31E-06	12.11	1.10E-05	1258.3	1258.3	1311.6	411.9	-31.5	-21.2	13.8	33.7	18.4
211.71	17.45	29.56	14.52	30.29	18.19	15.74	1.54E-05	21.27	1.08E-05	13.69	1.28E-05	1258.3	1258.3	1306.4	411.9	-31.5	-21.2	17.5	37.2	19.7
221.79	18.26	30.90	15.18	31.67	19.04	17.45	1.76E-05	23.74	1.24E-05	15.08	1.45E-05	1258.3	1258.3	1293.1	411.9	-31.5	-21.2	23.3	40.2	21.4

Tabla E.11. Momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos para viga V-11 (PPR = 0.65).

CARGA TOTAL (kN)	MOMENTOS (kN-m)					DEFLEXIONES REALES Y CURVATURA $\varphi = [M/(Ec I_g FR)]$						ESFUERZOS (MPa)								
												CABLES DE PRESFUERZO			ACERO CONVENCIONAL			CONCRETO		
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	$\Delta$ CL 1 (mm)	$\varphi$ CL 1 (1/mm)	$\Delta$ CL 2 (mm)	$\varphi$ CL 2 (1/mm)	$\Delta$ CL 3 (mm)	$\varphi$ CL 3 (1/mm)	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.50	-1.06E-06	-0.84	-8.19E-07	-0.46	-9.89E-07	1258.3	1258.3	1258.3	-25.0	-30.9	-20.8	0.5	-1.6	1.2
Mpp =	0.40	1.26	0.84	1.26	0.40	-0.46	-9.37E-07	-0.59	-5.53E-07	-0.42	-8.63E-07									
10.08	1.21	2.60	1.49	2.64	1.25	-0.41	-7.42E-07	-0.37	-3.59E-07	-0.17	-6.14E-07	1270.2	1372.5	1266.6	-13.4	-18.6	-20.8	0.7	-1.6	1.9
20.16	2.03	3.95	2.15	4.02	2.10	-0.12	-4.11E-07	0.09	-1.40E-07	0.09	-3.31E-07	1273.1	1376.0	1269.5	-10.4	-15.0	-20.8	1.1	-1.6	2.2
30.24	2.84	5.30	2.80	5.40	2.94	0.05	-1.59E-07	0.43	5.95E-08	0.35	-5.56E-08	1277.2	1378.0	1271.2	-4.6	-11.4	-20.8	1.5	-1.6	2.6
40.32	3.65	6.65	3.45	6.79	3.79	0.22	8.42E-08	0.75	2.70E-07	0.61	2.01E-07	1281.6	1380.0	1274.1	0.0	-6.0	-20.8	2.1	-1.6	2.9
50.41	4.46	7.99	4.10	8.17	4.64	0.34	3.38E-07	1.12	4.72E-07	0.91	4.73E-07	1285.3	1382.3	1277.6	4.0	0.0	-20.8	2.4	-1.6	3.4
60.49	5.27	9.34	4.75	9.55	5.48	0.54	6.01E-07	1.44	6.57E-07	1.18	7.35E-07	1288.9	1384.4	1280.4	11.4	6.4	-20.8	2.7	-1.6	3.8
70.57	6.08	10.69	5.40	10.93	6.33	0.75	8.71E-07	1.79	8.44E-07	1.43	9.88E-07	1295.5	1392.4	1285.6	20.6	15.9	-20.8	3.0	-1.6	4.3
80.65	6.90	12.04	6.06	12.32	7.18	0.90	1.11E-06	2.19	1.04E-06	1.71	1.26E-06	1298.8	1397.0	1290.4	26.6	25.5	-20.8	3.3	-1.6	4.9
90.73	7.71	13.38	6.71	13.70	8.03	1.12	1.40E-06	2.62	1.30E-06	2.01	1.59E-06	1303.5	1399.8	1295.8	35.0	38.9	-20.8	3.5	-1.6	4.9
100.81	8.52	14.73	7.36	15.08	8.87	1.45	1.62E-06	3.13	1.61E-06	2.31	1.95E-06	1311.6	1404.3	1302.2	57.0	60.6	-20.8	4.3	-1.6	5.0
110.89	9.33	16.08	8.01	16.46	9.72	1.68	1.86E-06	3.72	1.97E-06	2.66	2.35E-06	1316.2	1418.4	1308.5	69.2	79.6	-20.8	4.5	-1.6	5.8
120.97	10.14	17.43	8.66	17.85	10.57	2.04	2.32E-06	4.39	2.38E-06	3.02	2.78E-06	1319.9	1422.9	1316.8	85.2	103.2	-20.8	5.1	-1.6	6.5
131.06	10.95	18.77	9.31	19.23	11.41	2.40	2.81E-06	5.09	2.87E-06	3.40	3.24E-06	1329.1	1430.6	1327.0	104.0		-20.8	5.9	-1.6	7.3
141.14	11.77	20.12	9.96	20.61	12.26	2.84	3.41E-06	5.80	3.38E-06	3.75	3.70E-06	1333.5	1444.7	1334.7	127.0		-20.8	6.6	-1.6	8.2
151.22	12.58	21.47	10.62	22.00	13.11	3.24	4.03E-06	6.59	3.96E-06	4.18	4.14E-06	1338.0	1451.0	1343.5	141.8	199.9	-20.8	7.3	-1.6	8.8
161.30	13.39	22.82	11.27	23.38	13.96	3.85	4.99E-06	7.53	4.65E-06	4.69	4.81E-06	1344.3	1468.6	1350.6	163.8	238.9	-20.8	7.7	-1.6	9.3
171.38	14.20	24.17	11.92	24.76	14.80	4.24	5.62E-06	8.26	5.24E-06	5.19	5.49E-06	1359.9	1483.1	1369.1	193.8	329.6	-20.8	17.6	-1.6	10.5
181.46	15.01	25.51	12.57	26.14	15.65	4.74	6.38E-06	9.05	5.89E-06	5.75	6.26E-06	1364.3	1488.0	1378.3	213.8	366.2	-20.8	18.6	-1.6	11.1
191.54	15.82	26.86	13.22	27.53	16.50	5.39	7.35E-06	10.00	6.65E-06	6.37	7.11E-06	1374.5	1494.4	1398.7	256.2	392.3	-20.8	7.4	-1.6	
201.62	16.64	28.21	13.87	28.91	17.35	5.98	8.27E-06	10.96	7.44E-06	7.11	8.12E-06	1381.0	1508.1	1410.6	277.2	411.9	-20.8	8.4	-1.6	
211.71	17.45	29.56	14.52	30.29	18.19	6.72	9.44E-06	11.94	8.26E-06	7.84	9.16E-06	1382.7	1525.3	1436.2	348.6	411.9	-20.8	19.5	-1.6	13.7
221.79	18.26	30.90	15.18	31.67	19.04	7.40	1.06E-05	13.09	9.22E-06	8.64	1.03E-05	1389.5	1525.2	1454.8	375.0	411.9	-20.8	20.6	-1.6	14.8
231.87	19.07	32.25	15.83	33.06	19.89	8.16	1.19E-05	14.33	1.03E-05	9.39	1.14E-05	1397.8	1603.0	1472.7	411.9	411.9	-20.8		-1.6	15.4
241.95	19.88	33.60	16.48	34.44	20.73	9.09	1.34E-05	15.67	1.14E-05	10.33	1.28E-05	1408.2	1612.2	1471.7	411.9	411.9	-20.8		-1.6	17.0
252.03	20.69	34.95	17.13	35.82	21.58	10.22	1.53E-05	17.32	1.28E-05	11.37	1.43E-05	1416.8		1490.0	411.9	411.9	-20.8		-1.6	18.2
262.11	21.51	36.29	17.78	37.20	22.43	11.99	1.83E-05	19.35	1.44E-05	12.35	1.58E-05	1420.4		1508.4	411.9	411.9	-20.8		-1.6	19.8

Tabla E.12. Momentos, deflexiones, curvaturas y esfuerzos para viga V-12 (PPR = 0.55).

CARGA TOTAL (kN)	MOMENTOS (kN-m)					DEFLEXIONES REALES Y CURVATURA $\varphi = [M/(E_c I_g FR)]$						ESFUERZOS (MPa)								
												CABLES DE PRESFUERZO			ACERO CONVENCIONAL			CONCRETO		
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	$\Delta$ CL 1 (mm)	$\varphi$ CL 1 (1/mm)	$\Delta$ CL 2 (mm)	$\varphi$ CL 2 (1/mm)	$\Delta$ CL 3 (mm)	$\varphi$ CL 3 (1/mm)	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2	1 CL1	2 AP2	3 CL2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.50	-1.08E-06	-0.84	-8.34E-07	-0.46	-1.01E-06	1258.3	1258.3	1258.3	-25.8	-31.9	-21.5	0.5	-1.6	1.2
Mpp =	0.40	1.26	0.84	1.26	0.40	-0.46	-9.54E-07	-0.59	-5.63E-07	-0.42	-8.78E-07									
10.08	1.21	2.60	1.49	2.64	1.25	-0.07	-7.11E-07	-0.04	-3.60E-07	0.04	-6.16E-07	1262.9	1263.9	1267.0	-18.2	-33.5	-21.5	1.1	-1.3	1.9
20.16	2.03	3.95	2.15	4.02	2.10	0.36	-4.41E-07	0.77	-1.47E-07	0.54	-3.38E-07	1267.0	1267.8	1275.6	-13.0	-34.9	-21.5	1.5	-0.6	2.5
30.24	2.84	5.30	2.80	5.40	2.94	0.86	-1.79E-07	1.65	6.45E-08	1.10	-6.48E-08	1272.6	1270.6	1284.3	-5.0	-33.9	-21.5	1.6	-0.2	2.9
40.32	3.65	6.65	3.45	6.79	3.79	1.35	8.88E-08	2.49	2.77E-07	1.66	2.11E-07	1277.6	1273.1	1292.9	2.8	-33.9	-21.5	2.0	0.4	3.6
50.41	4.46	7.99	4.10	8.17	4.64	1.80	3.48E-07	3.29	4.84E-07	2.16	4.79E-07	1280.1	1276.8	1301.6	11.6	-31.7	-21.5	2.3	0.6	4.1
60.49	5.27	9.34	4.75	9.55	5.48	2.24	6.03E-07	4.10	6.89E-07	2.66	7.84E-07	1283.1	1280.2	1310.2	19.8	-28.3	-21.5	2.7	1.2	4.7
70.57	6.08	10.69	5.40	10.93	6.33	2.64	8.88E-07	4.87	9.46E-07	3.14	1.05E-06	1286.2	1282.6	1318.9	25.2	-25.7	-21.5	3.1	1.9	5.3
80.65	6.90	12.04	6.06	12.32	7.18	3.12	1.17E-06	5.76	1.25E-06	3.67	1.34E-06	1290.4	1287.6	1327.5	33.0	-20.9	-21.5	3.2	2.7	5.7
90.73	7.71	13.38	6.71	13.70	8.03	3.52	1.48E-06	6.54	1.61E-06	4.15	1.67E-06	1295.1	1292.2	1336.2	40.2	-17.1	-21.5	3.5	3.5	6.4
100.81	8.52	14.73	7.36	15.08	8.87	3.94	1.81E-06	7.33	2.00E-06	4.61	2.03E-06	1297.7	1300.5	1344.9	47.4	-9.7	-21.5	4.9	4.5	7.0
110.89	9.33	16.08	8.01	16.46	9.72	4.31	2.14E-06	8.12	2.42E-06	5.09	2.40E-06	1307.9	1304.7	1353.5	64.4	3.3	-21.5	4.5	5.2	7.8
120.97	10.14	17.43	8.66	17.85	10.57	4.75	2.52E-06	8.90	2.86E-06	5.58	2.80E-06	1312.5	1307.5	1362.2	87.4	9.5	-21.5	5.3	6.4	8.3
131.06	10.95	18.77	9.31	19.23	11.41	5.23	2.94E-06	9.67	3.32E-06	6.09	3.30E-06	1317.7	1311.2	1370.8	104.6		-21.5	5.6	7.6	8.9
141.14	11.77	20.12	9.96	20.61	12.26	5.68	3.35E-06	10.53	3.84E-06	6.69	3.88E-06	1324.1	1313.9	1379.5	121.6		-21.5	6.4	8.8	9.6
151.22	12.58	21.47	10.62	22.00	13.11	6.14	3.86E-06	11.35	4.36E-06	7.24	4.46E-06	1334.7	1320.8	1389.3	145.4	74.9	-21.5	6.0	10.2	10.3
161.30	13.39	22.82	11.27	23.38	13.96	6.68	4.43E-06	12.07	4.89E-06	7.80	5.07E-06	1342.9	1323.6	1427.0	179.4	151.0	-21.5	7.0	11.6	11.0
171.38	14.20	24.17	11.92	24.76	14.80	7.14	4.97E-06	12.76	5.42E-06	8.36	5.71E-06	1353.1	1330.3	1457.0	205.2	201.6	-21.5	9.4	14.2	11.7
181.46	15.01	25.51	12.57	26.14	15.65	7.75	5.64E-06	13.48	5.98E-06	8.81	6.30E-06	1359.5	1334.5	1463.5	230.8	251.6	-21.5	10.0	18.7	12.3
191.54	15.82	26.86	13.22	27.53	16.50	8.24	6.25E-06	14.28	6.58E-06	9.49	7.06E-06	1376.0	1341.0	1501.2	264.4	304.0	-21.5	9.7	21.2	12.8
201.62	16.64	28.21	13.87	28.91	17.35	8.77	6.91E-06	14.93	7.14E-06	9.87	7.64E-06	1382.5	1345.3	1544.3	287.4	348.0	-21.5	10.7	24.0	13.6
211.71	17.45	29.56	14.52	30.29	18.19	9.31	7.60E-06	15.81	7.82E-06	10.51	8.42E-06	1391.0	1350.6	1574.3	307.5	392.4	-21.5	11.7	26.6	14.1
221.79	18.26	30.90	15.18	31.67	19.04	9.96	8.39E-06	16.77	8.54E-06	11.09	9.18E-06	1397.7	1357.2	1609.1	329.3	411.9	-21.5	12.6	28.8	14.9
231.87	19.07	32.25	15.83	33.06	19.89	10.72	9.30E-06	17.92	9.37E-06	11.74	1.00E-05	1400.4	1360.3	1620.1	353.5	411.9	-21.5	13.1	31.0	16.0
241.95	19.88	33.60	16.48	34.44	20.73	11.54	1.03E-05	19.25	1.03E-05	12.46	1.09E-05	1408.9	1363.3	1640.0	379.3	411.9	-21.5	14.2	33.2	17.1
252.03	20.69	34.95	17.13	35.82	21.58	12.48	1.14E-05	20.71	1.13E-05	13.22	1.19E-05	1417.3	1366.5	1663.9	398.5	411.9	-21.5	15.0	34.8	17.8
262.11	21.51	36.29	17.78	37.20	22.43	13.45	1.26E-05	22.40	1.25E-05	14.15	1.30E-05	1428.9	1373.4	1666.4	411.9	411.9	-21.5	15.8	37.3	18.7
136.10	22.32	37.64	18.43	38.59	23.28	12.82	1.23E-05	19.37	1.28E-05	14.68	1.40E-05	1440.4	1381.5	1410.2	411.9	411.9	-21.5	16.7	40.0	19.8
141.14	23.13	38.99	19.08	39.97	24.12	13.47	1.32E-05	19.98	1.35E-05	14.81	1.44E-05	1451.6	1471.7		411.9	411.9	-21.5	17.6	41.7	17.4
146.18	23.94	40.34	19.74	41.35	24.97	14.37	1.43E-05	21.41	1.46E-05	15.58	1.55E-05	1465.6	1490.0		411.9	411.9	-21.5	18.9	44.3	18.5
151.22	24.75	41.69	20.39	42.74	25.82	15.48	1.57E-05	24.56	1.70E-05	17.54	1.77E-05	1471.7	1526.3		411.9	411.9	-21.5	20.1	48.2	20.3
156.26	25.57	43.03	21.04	44.12	26.66	16.60	1.72E-05	27.71	1.93E-05	19.50	2.00E-05	1490.0	1561.6		411.9	411.9	-21.5	21.3	52.2	22.0

## **APÉNDICE F**

### **DIAGRAMAS DE MOMENTOS OBTENIDOS CON LAS CARGAS APLICADAS DURANTE LOS ENSAYES**

Los diagramas de momentos están graficados para cada nivel de carga aplicada en incrementos de 10.08 kN provenientes de dos gatos hidráulicos localizados simétricamente y posteriormente concentrada en seis puntos de la viga ubicándose un par de cargas en cada claro separadas 0.6 m en los claros de 2.4 m y a los tercios del claro central de 3.6 m para las vigas de 8.7 m de longitud.

La carga proveniente de los gatos hidráulicos fue medida con celdas de carga cuyas lecturas dadas en unidades de aplicación, fue en incrementos de 100 unidades por cada gato con un factor promedio de 5.14 con lo que en total, la carga aplicada por incremento, para los seis puntos mencionados, fue de 10.08 kN.

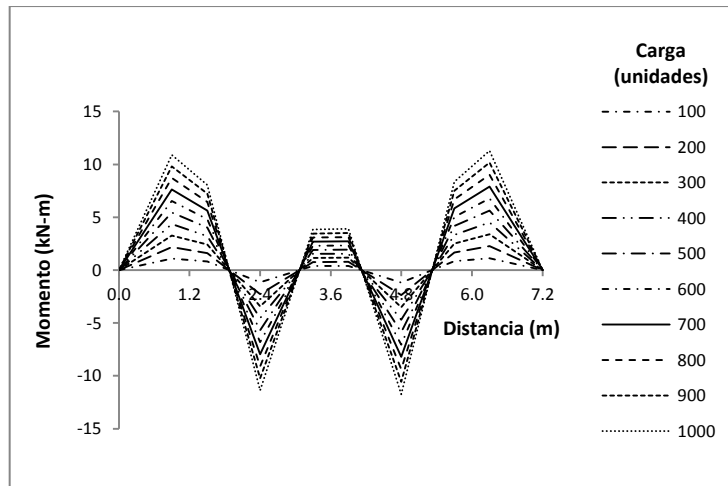


Figura No. F.1. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 100 a 1000 unidades (V-1).

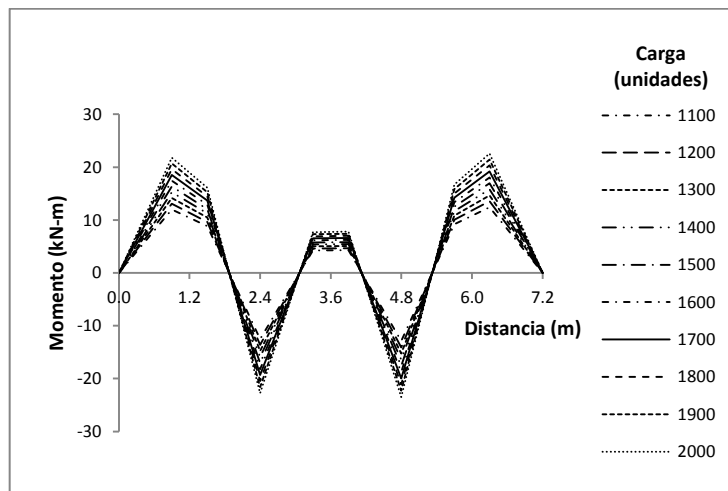


Figura No. F.2. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 1100 a 2000 unidades (V-1).

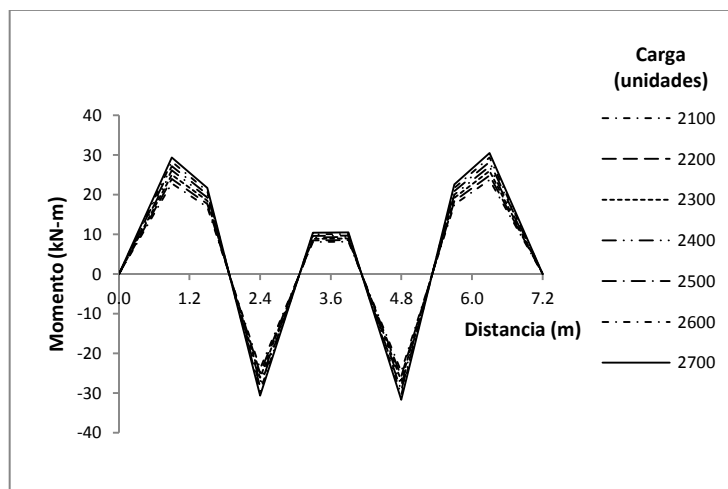


Figura No. F.3. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 2100 a 2700 unidades (V-1).

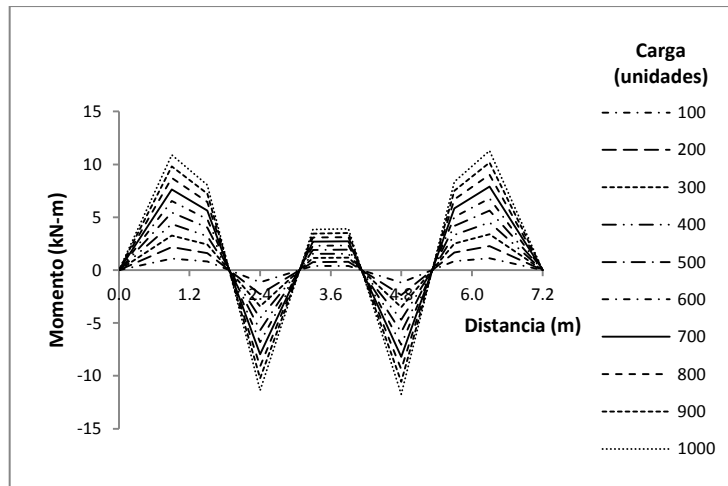


Figura No. F.4. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 100 a 1000 unidades (V-2).

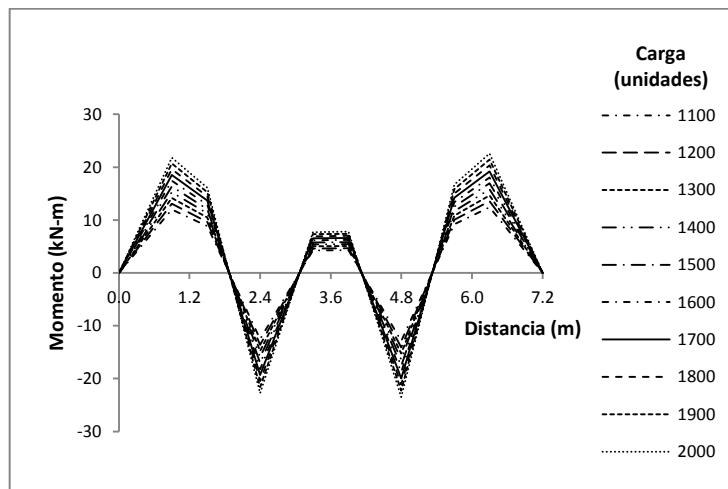


Figura No. F.5. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 1100 a 2000 unidades (V-2).

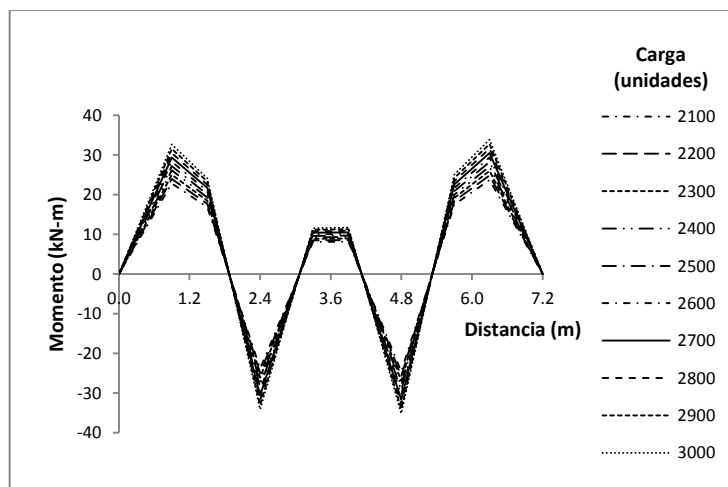


Figura No. F.6. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 2100 a 3000 unidades (V-2).

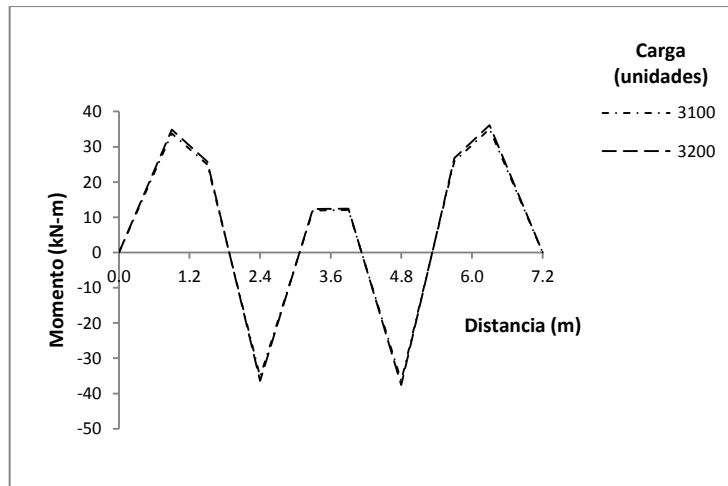


Figura No. F.7. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 3100 y 3200 unidades (V-2).

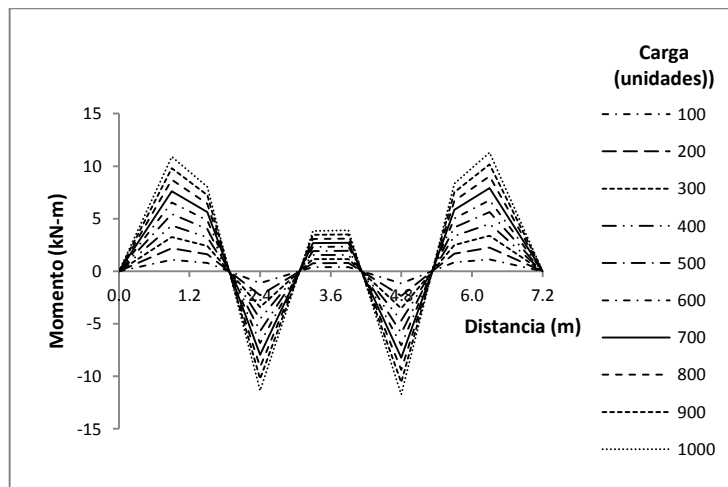


Figura No. F.8. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 100 a 1000 unidades (V-3).

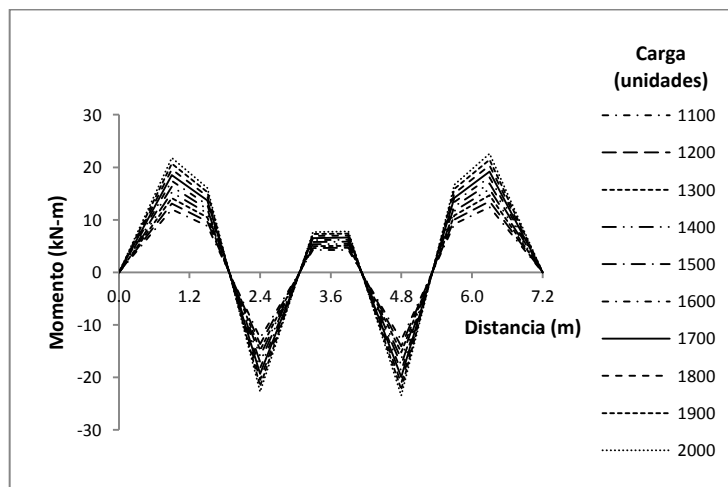


Figura No. F.9. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 1100 a 2000 unidades (V-3).



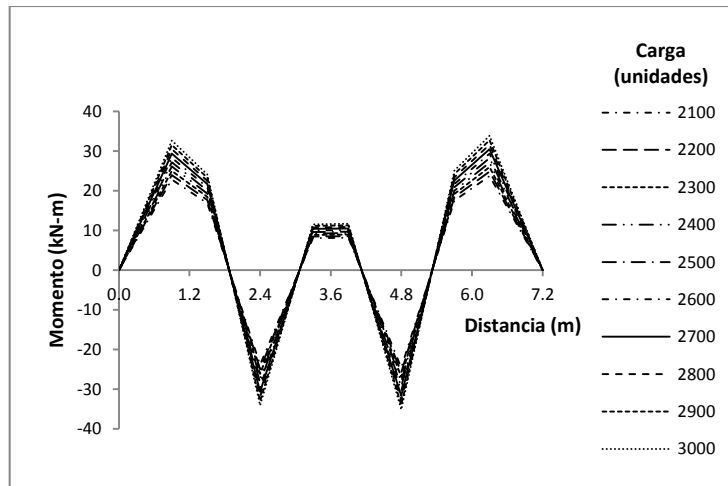


Figura No. F.10. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 2100 a 3000 unidades (V-3).

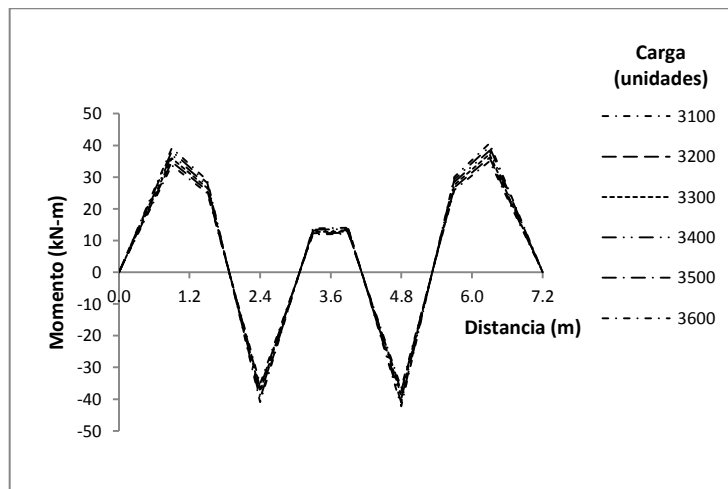


Figura No. F.11. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 3100 a 3600 unidades (V-3).

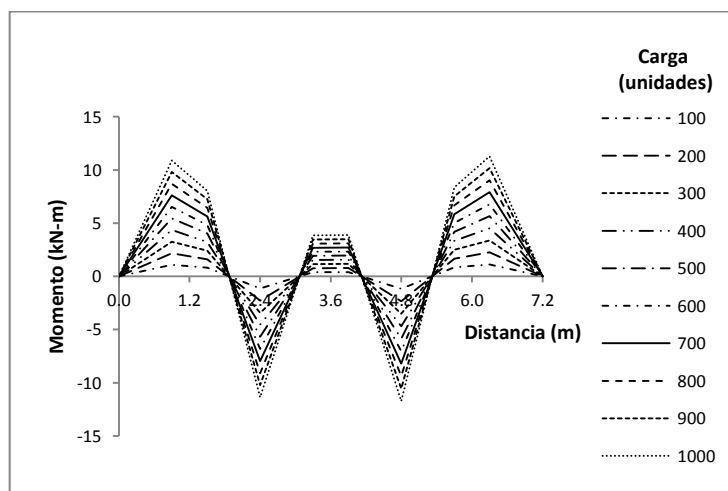


Figura No. F.12. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 100 a 1000 unidades (V-4).

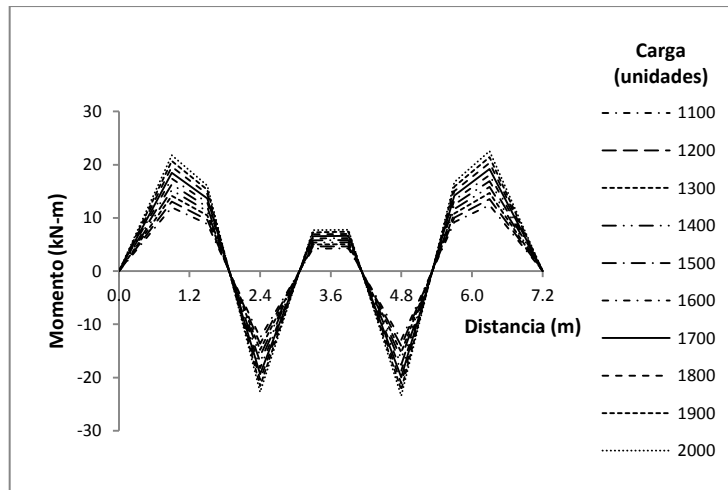


Figura No. F.13. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 1100 a 2000 unidades (V-4).

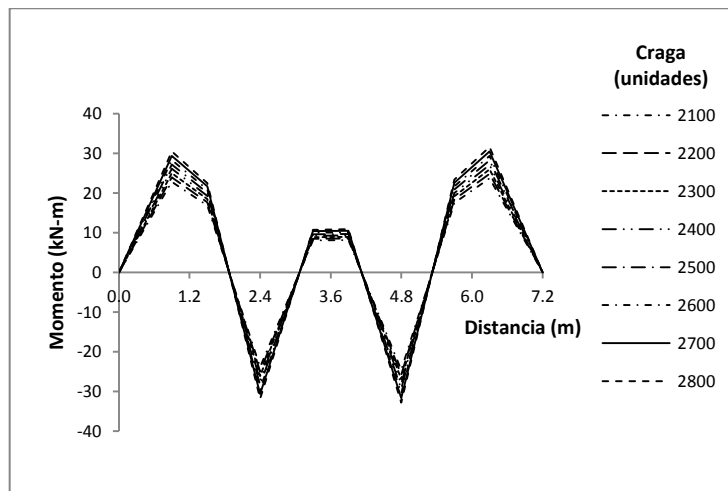


Figura No. F.14. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 2100 a 2600 unidades (V-4).

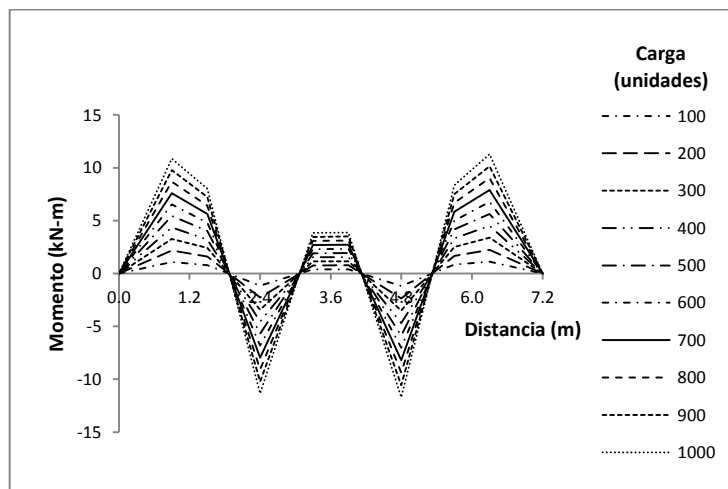


Figura No. F.15. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 100 a 1000 unidades (V-5).

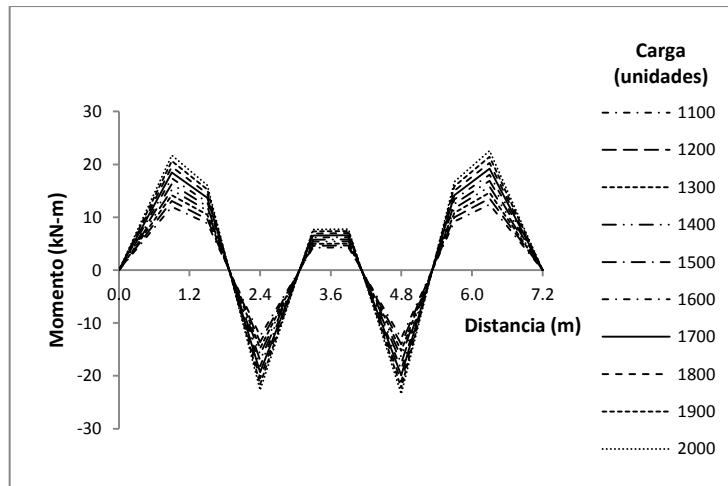


Figura No. F.16. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 1100 a 2000 unidades (V-5).

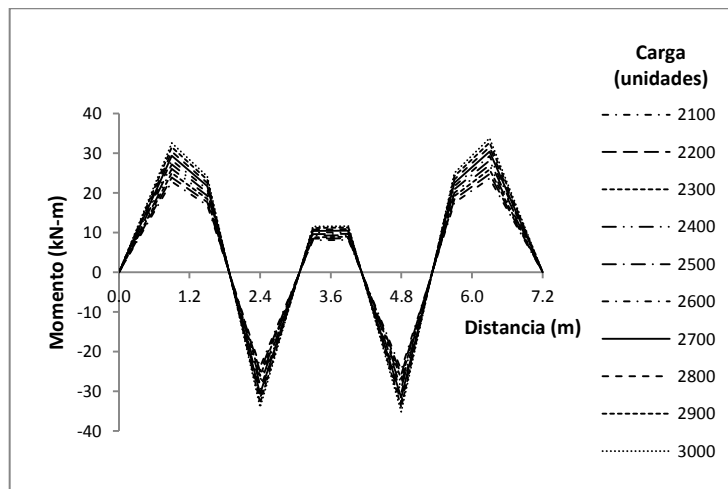


Figura No. F.17. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 2100 a 3000 unidades (V-5).

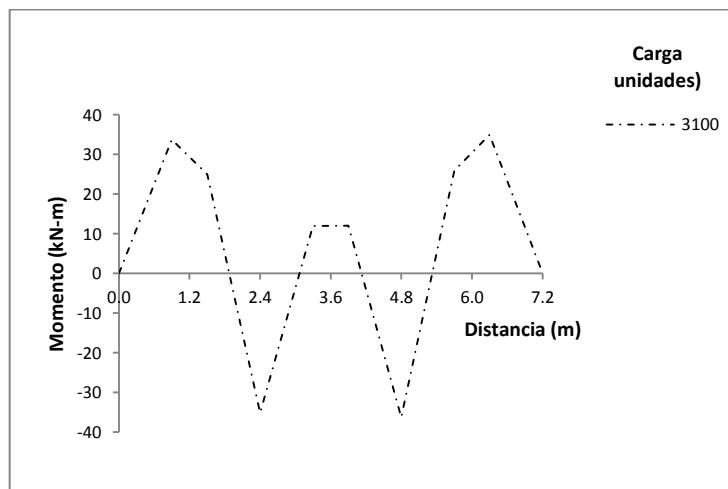


Figura No. F.18. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 3100 unidades (V-5).

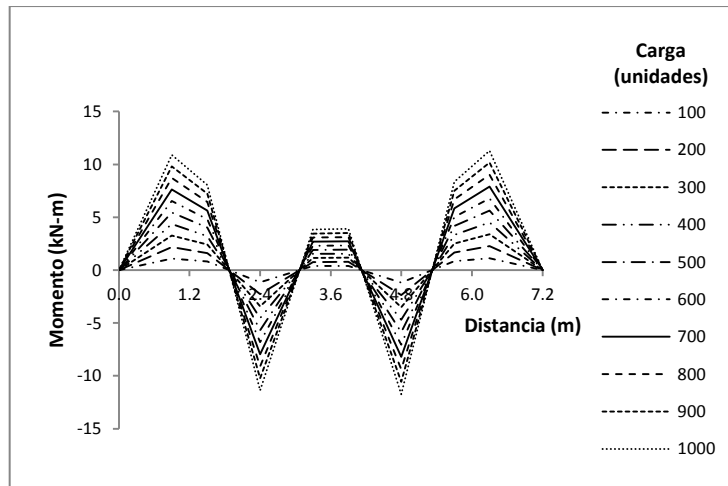


Figura No. F.19. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 100 a 1000 unidades (V-6).

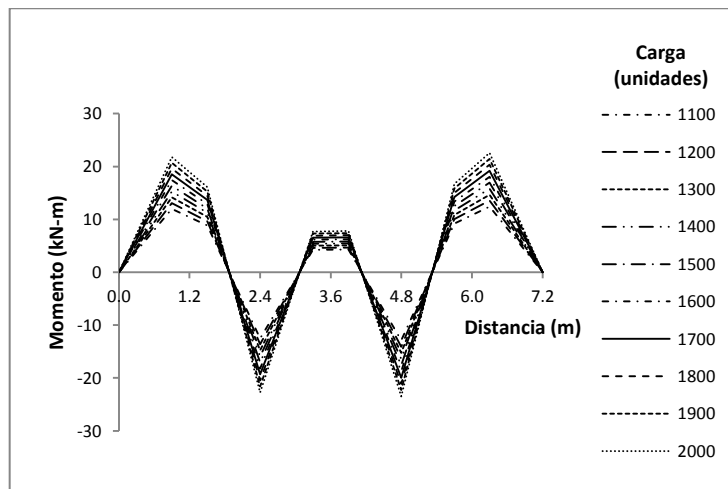


Figura No. F.20. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 1100 a 2000 unidades (V-6).

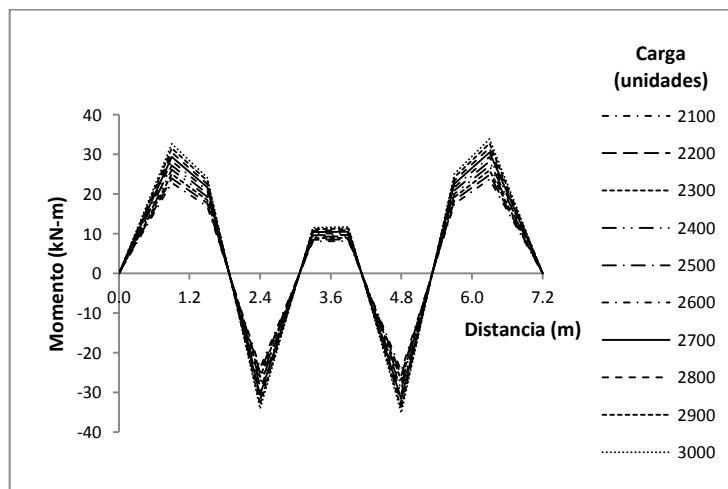


Figura No. F.21. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 2100 a 3000 unidades (V-6).

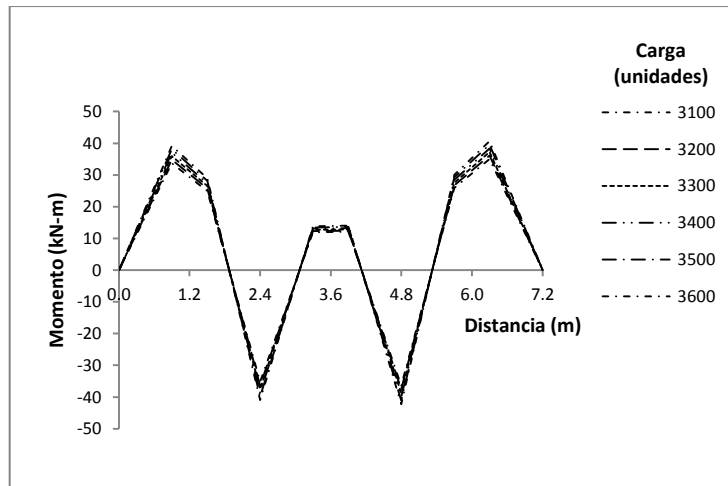


Figura No. F.22. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 3100 a 3600 unidades (V-6).

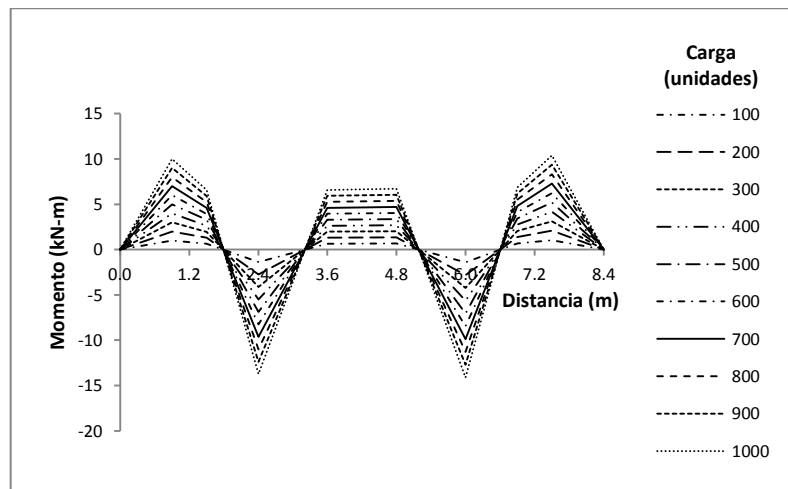


Figura No. F.23. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 100 a 1000 unidades (V-7).

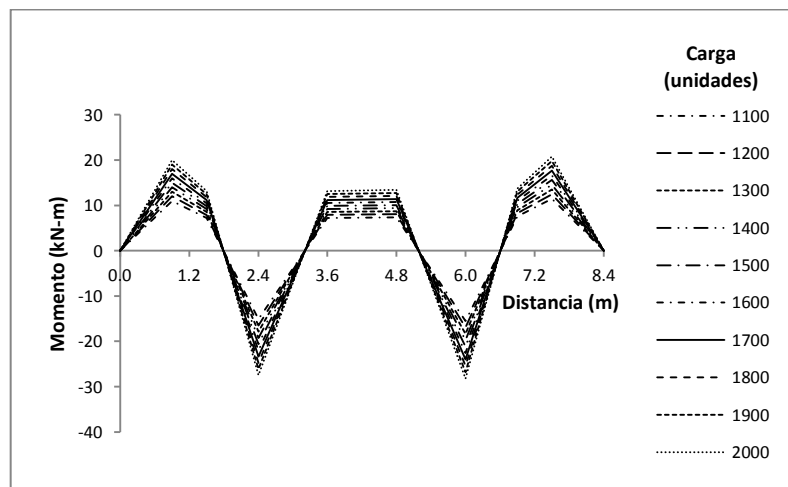


Figura No. F.24. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 1100 a 2000 unidades (V-7).

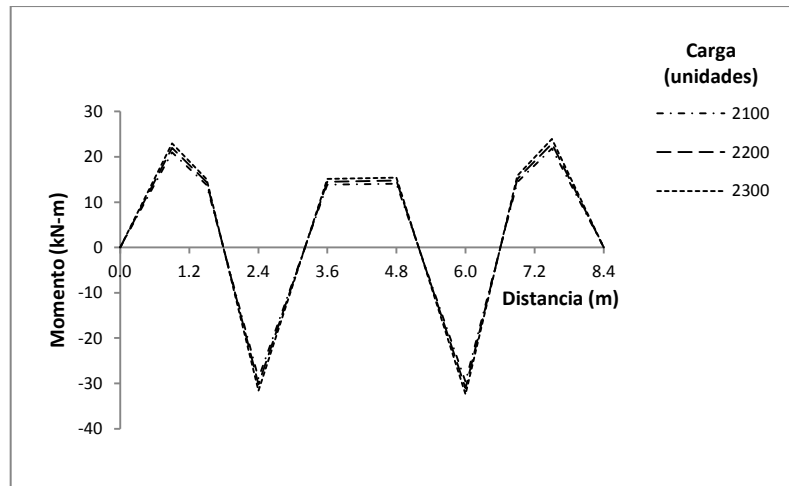


Figura No. F.25. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 2100 a 2300 unidades (V-7).

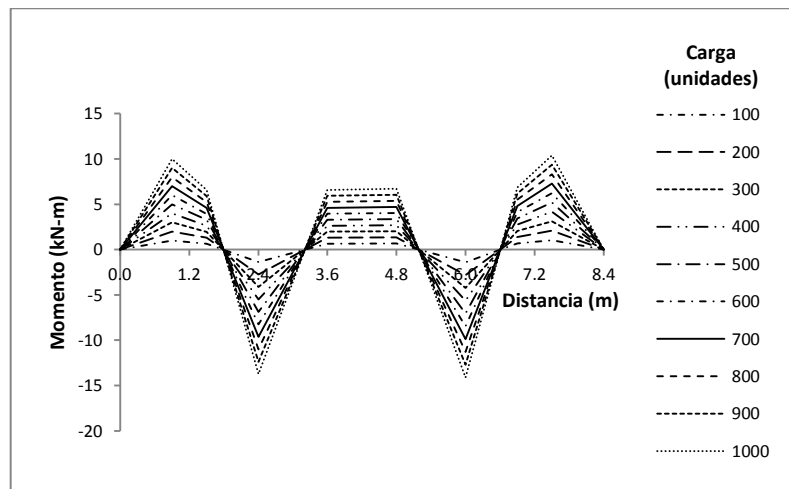


Figura No. F.26. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 100 a 1000 unidades (V-8).

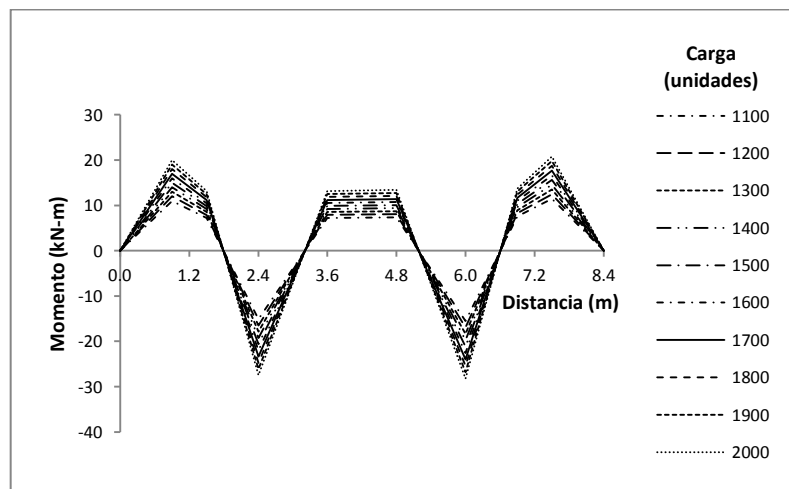


Figura No. F.27. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 1100 a 2000 unidades (V-8).

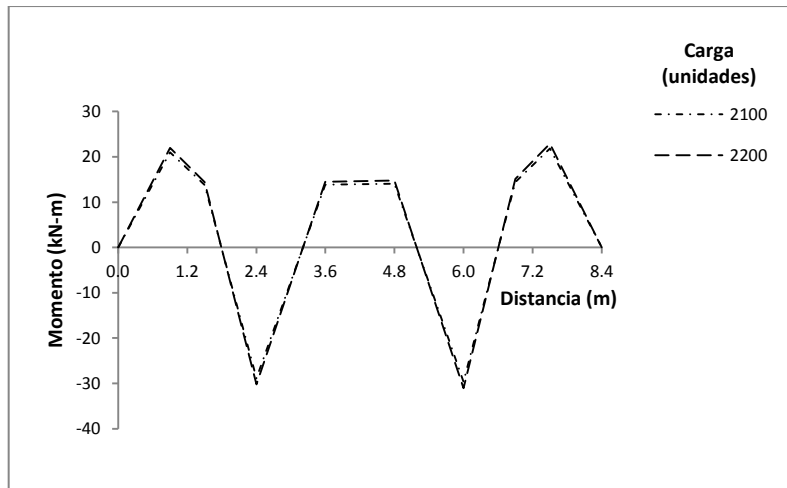


Figura No. F.28. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 2100 y 2200 unidades (V-8).

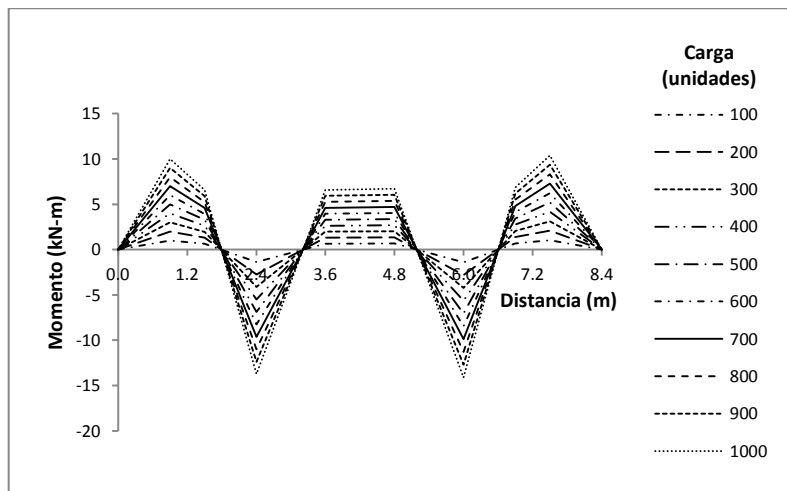


Figura No. F.29. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 100 a 1000 unidades (V-9).

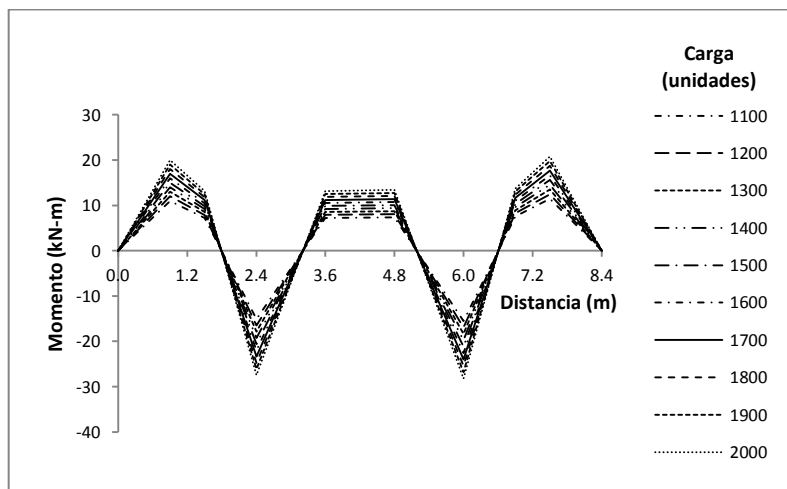


Figura No. F.30. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 1100 a 2000 unidades (V-9).

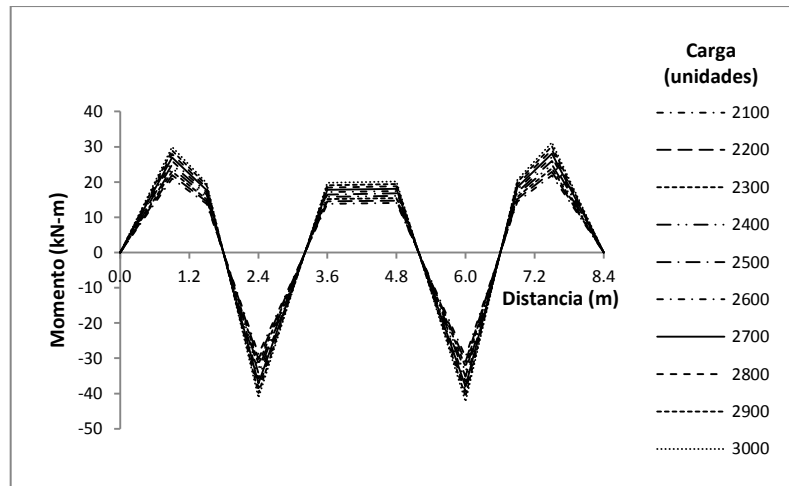


Figura No. F.31. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 2100 a 3000 unidades (V-9).

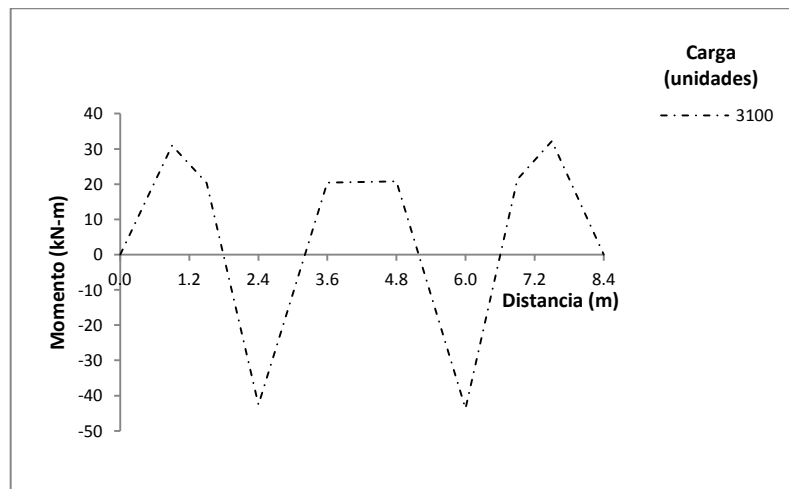


Figura No. F.32. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 3100 unidades (V-9).

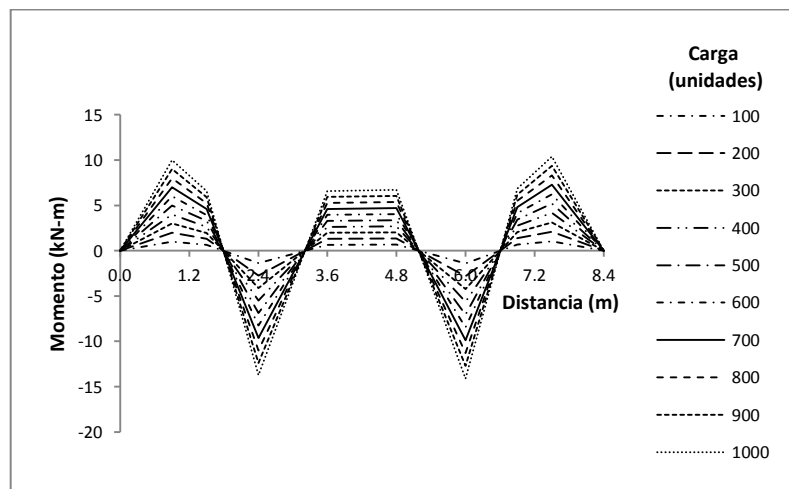


Figura No. F.33. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 100 a 1000 unidades (V-10).



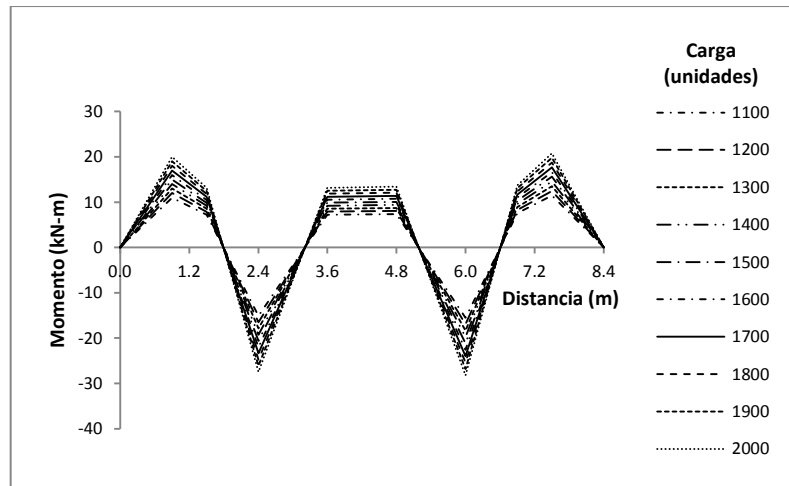


Figura No. F.34. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 1100 a 2000 unidades (V-10).

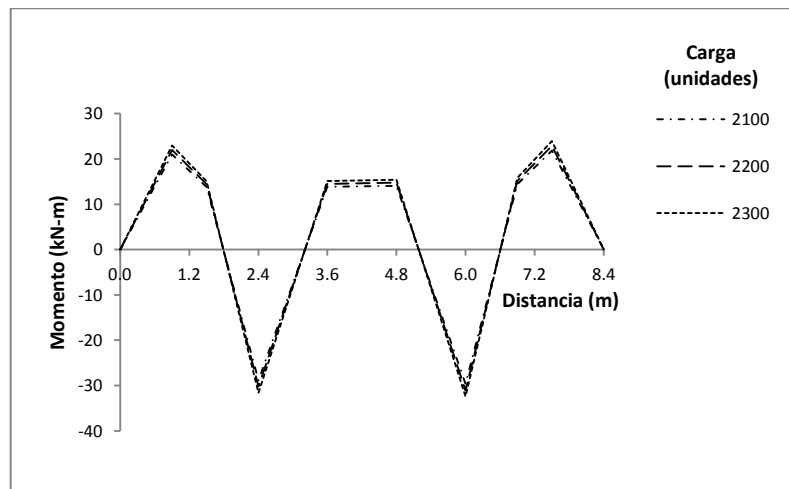


Figura No. F.35. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 2100 a 2300 unidades (V-10).

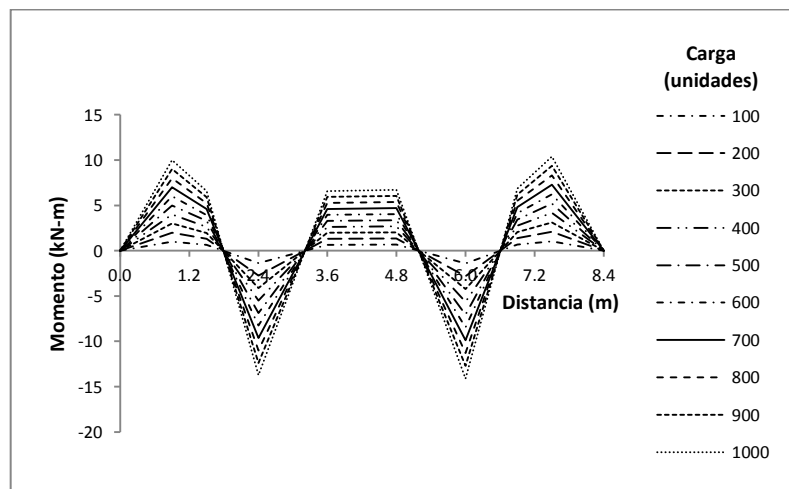


Figura No. F.36. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 100 a 1000 unidades (V-11).

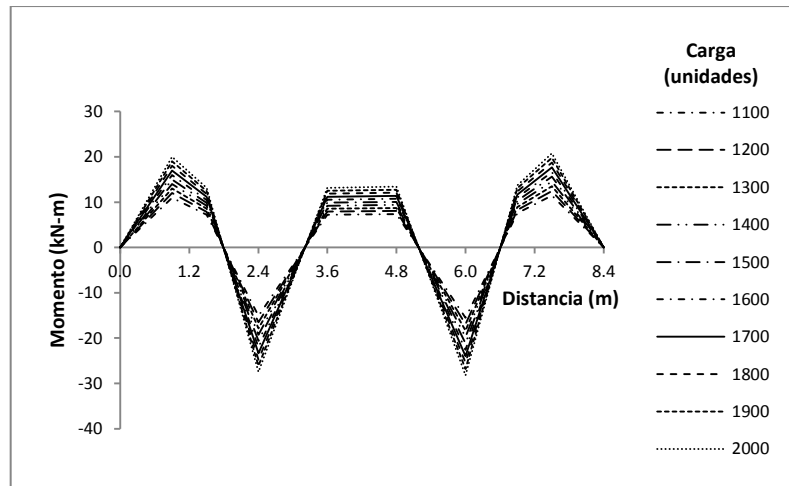


Figura No. F.37. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 1100 a 2000 unidades (V-11).

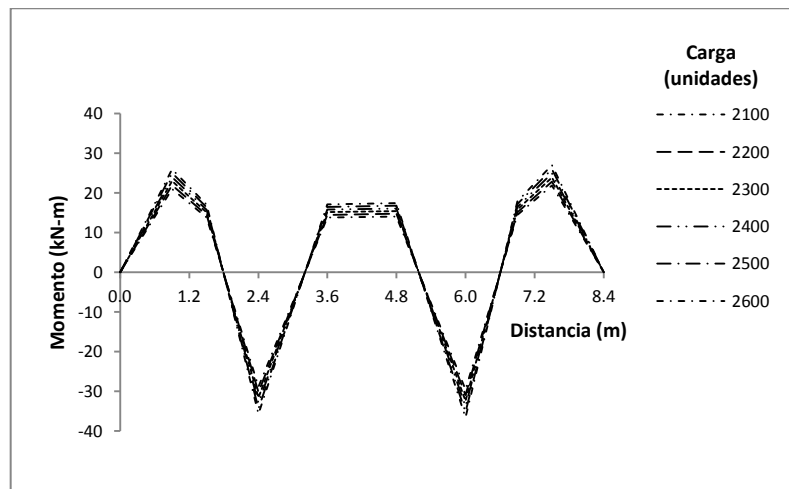


Figura No. F.38. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 2100 a 2600 unidades (V-11).

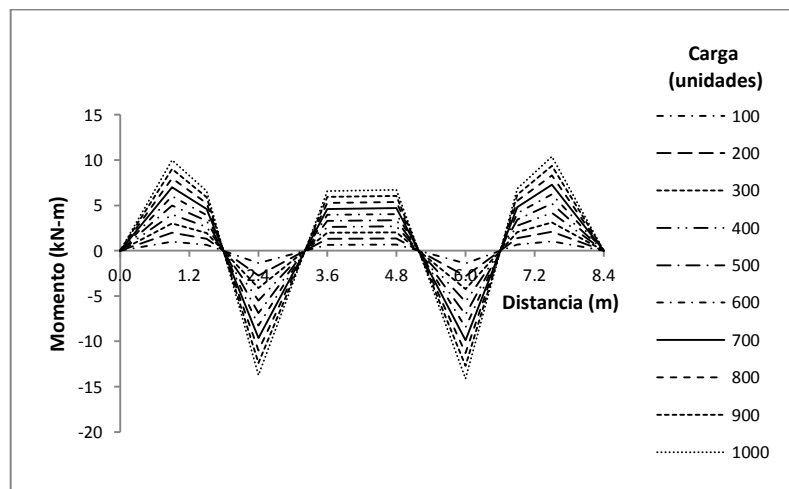


Figura No. F.39. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 100 a 1000 unidades (V-12).

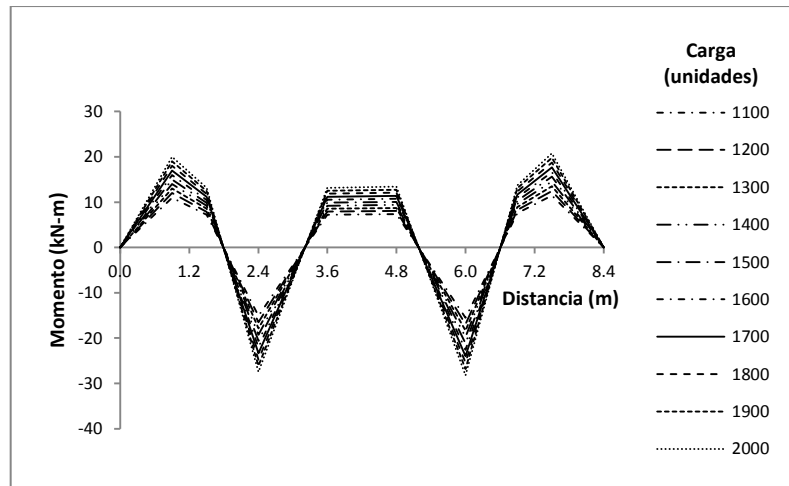


Figura No. F.40. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 1100 a 2000 unidades (V-12).

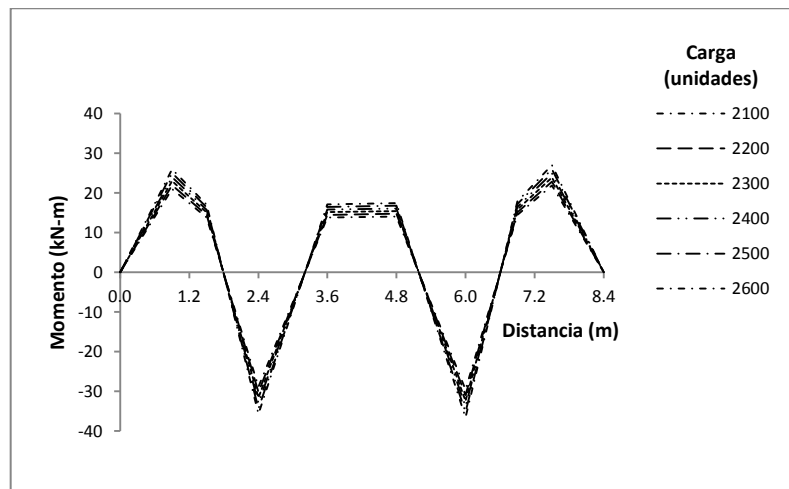


Figura No. F.41. Diagramas de Momentos, cargas aplicadas de 2100 a 3000 unidades (V-12).

## **APÉNDICE G**

### **GRÁFICAS DE MOMENTOS ACTUANTES VS. ESFUERZOS EN LOS MATERIALES (ACERO DE PRESFUERZO, ACERO CONVENCIONAL Y CONCRETO)**

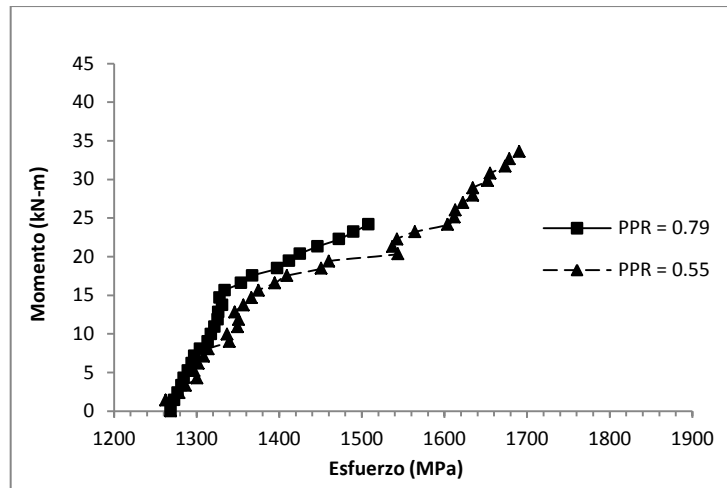


Figura G.1. Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Claro 1 (V-1, V-2 y V-3).

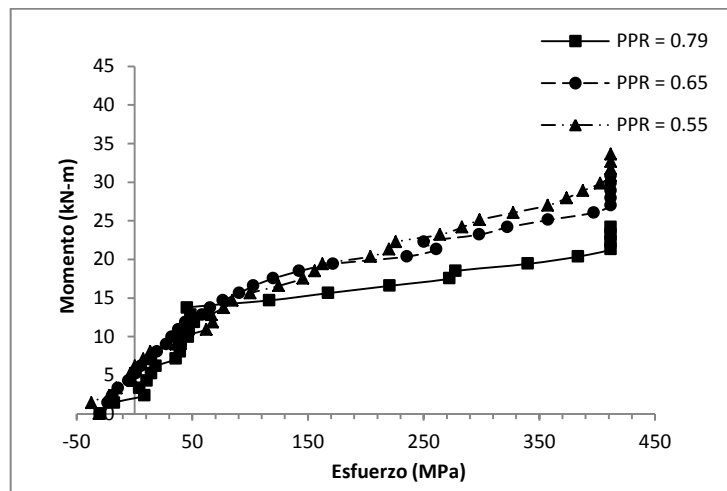


Figura G.2. Gráfica Momento-Esfuerzos: ACERO CONVENCIONAL, Claro 1 (V-1, V-2 y V-3).

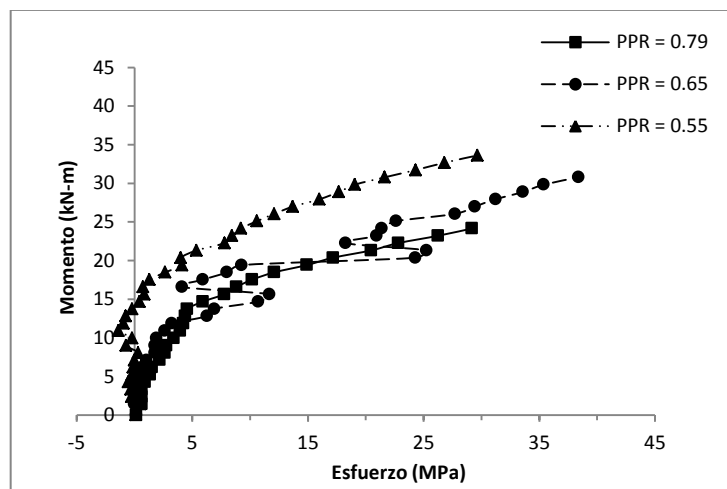


Figura G.3. Gráfica Momento-Esfuerzos en el concreto, Claro 1 (V-1, V-2 y V-3).

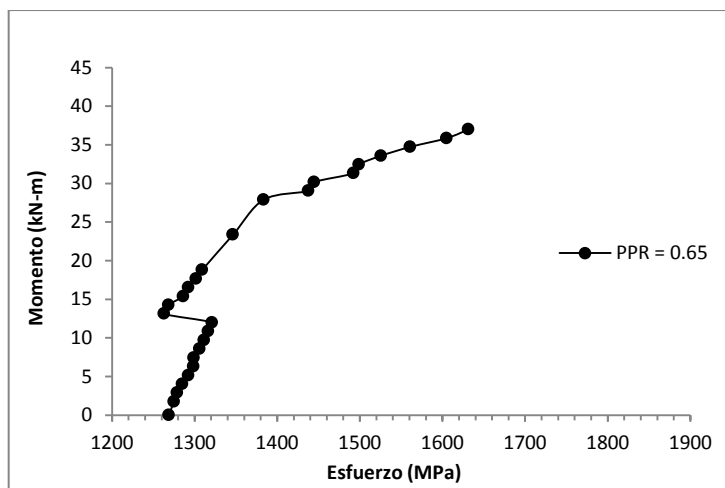


Figura G.4. Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Apoyo 2 (V-1, V-2 y V-3).

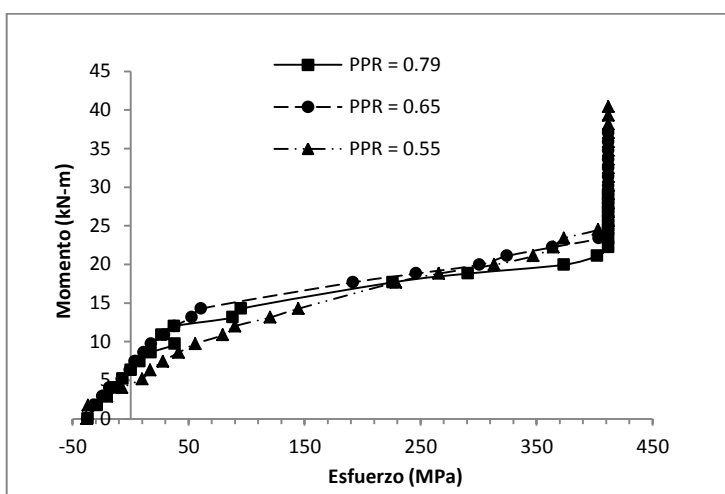


Figura G.5. Gráfica Momento-Esfuerzos: acero convencional, Apoyo 2 (V-1, V-2 y V-3).

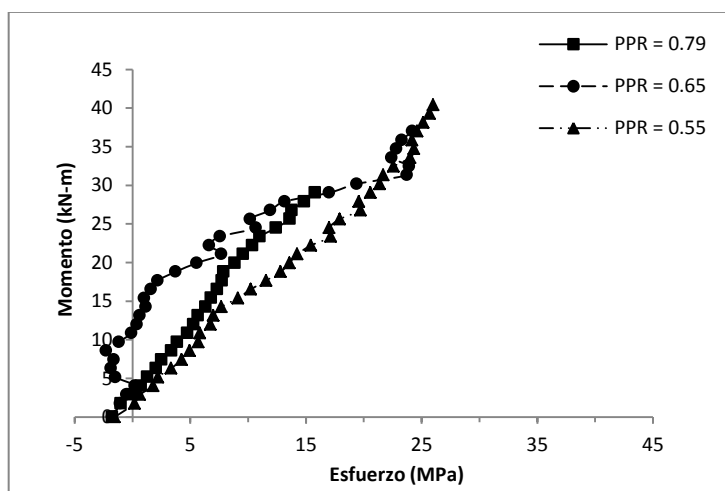


Figura G.6. Gráfica Momento-Esfuerzos en el concreto, Apoyo 2 (V-1, V-2 y V-3).

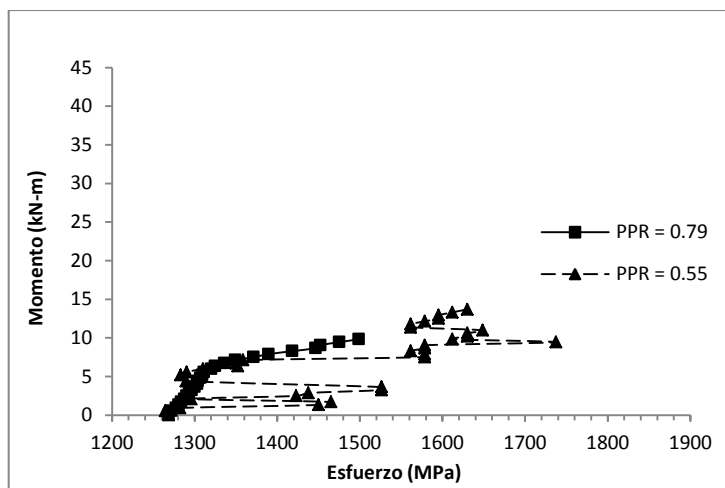


Figura G.7. Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Claro 2 (V-1, V-2 y V-3).

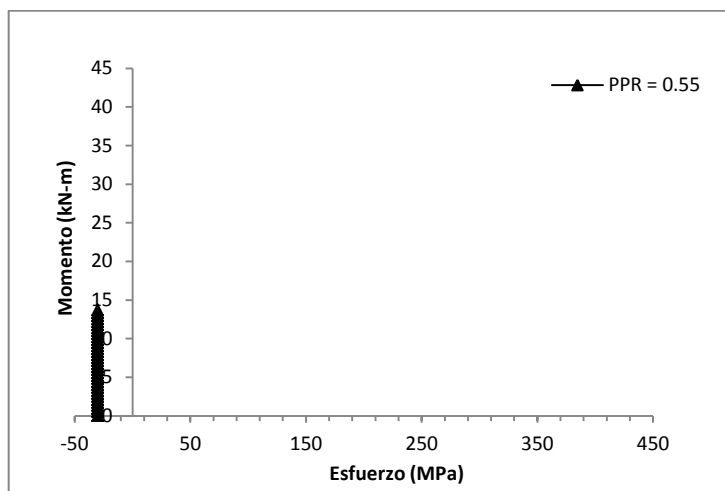


Figura G.8. Gráfica Momento-Esfuerzos: acero convencional, Claro 2 (V-1, V-2 y V-3).

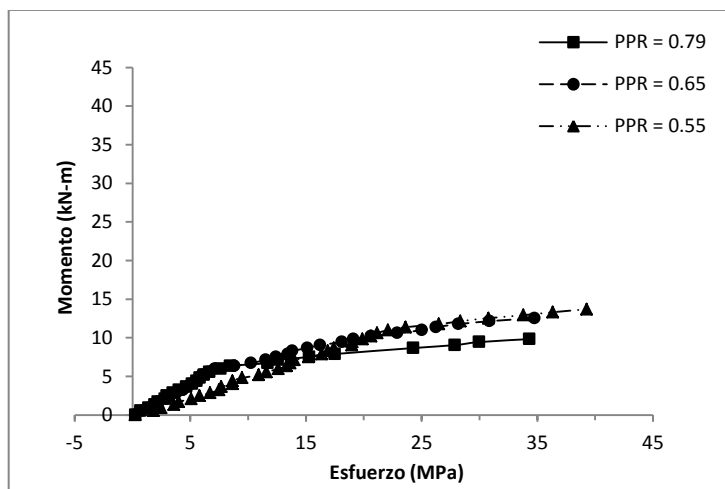


Figura G.9. Gráfica Momento-Esfuerzos en el concreto, Claro 2 (V-1, V-2 y V-3).

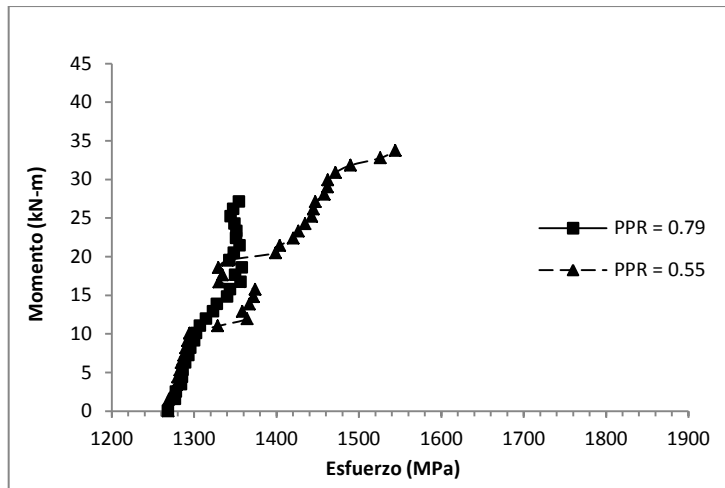


Figura G.10. Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Claro 1 (V-4, V-5 y V-6).

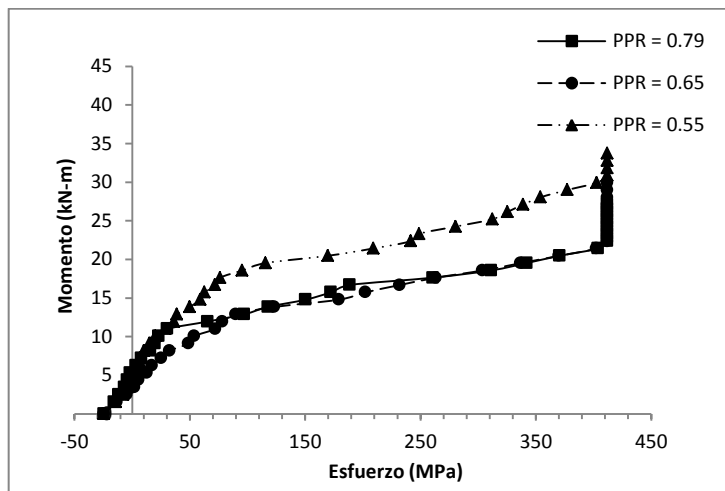


Figura G.11. Gráfica Momento-Esfuerzos: acero convencional, Claro 1 (V-4, V-5 y V-6).

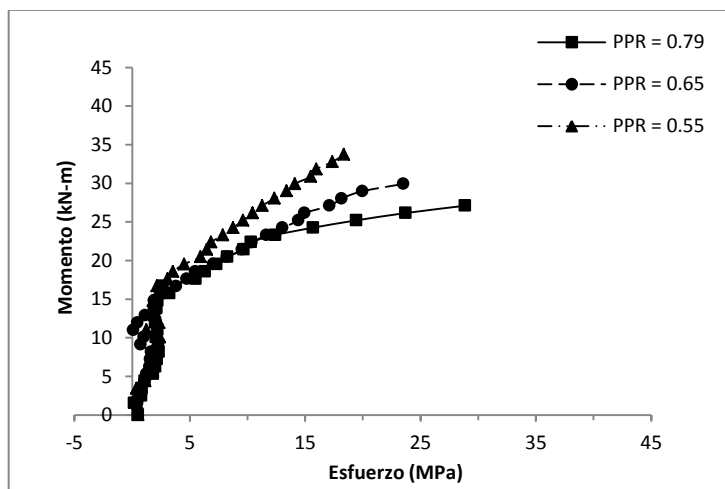


Figura G.12. Gráfica Momento-Esfuerzos en el concreto, Claro 1 (V-4, V-5 y V-6).



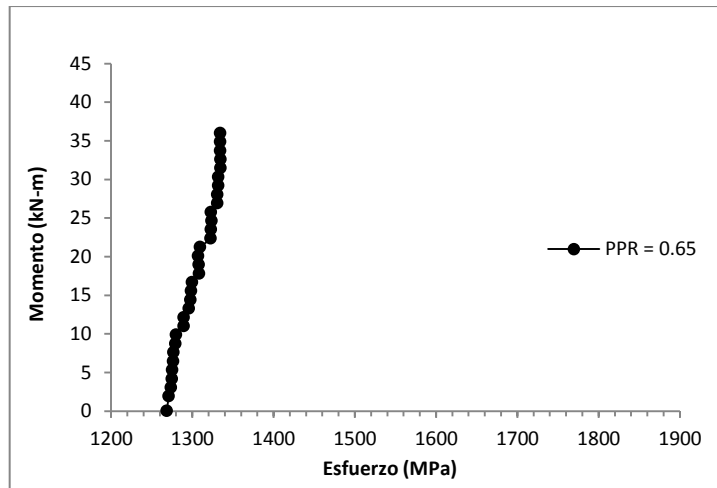


Figura G.13. Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Apoyo 2 (V-4, V-5 y V-6).

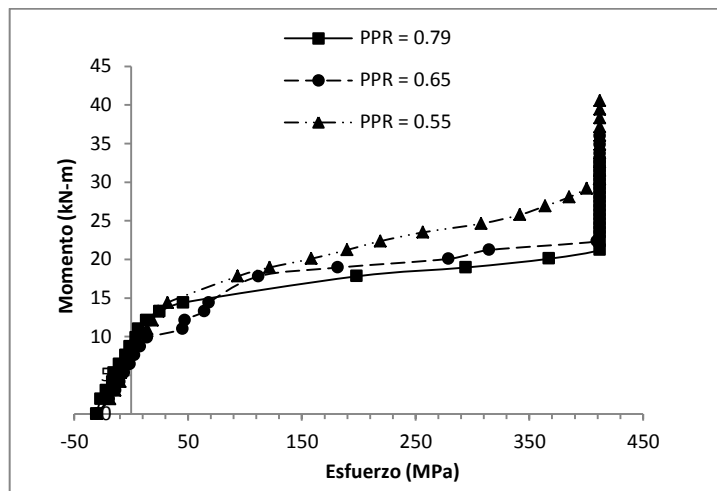


Figura G.14. Gráfica Momento-Esfuerzos en acero convencional, Apoyo 2 (V-4, V-5 y V-6).

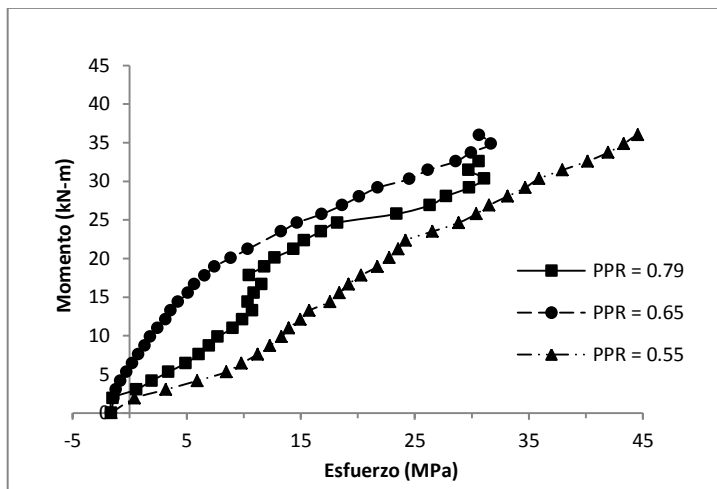


Figura G.15. Gráfica Momento-Esfuerzos en el concreto, Apoyo 2 (V-4, V-5 y V-6).

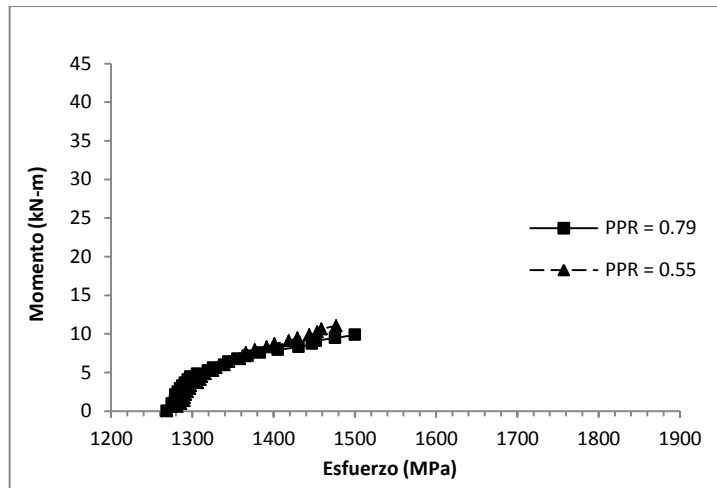


Figura G.16. Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Claro 2 (V-4, V-5 y V-6).

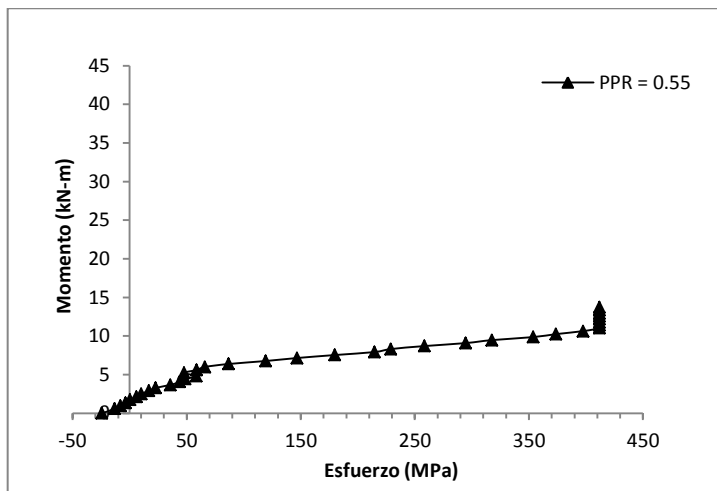


Figura G.17. Gráfica Momento-Esfuerzos: acero convencional, Claro 2 (V-4, V-5 y V-6).

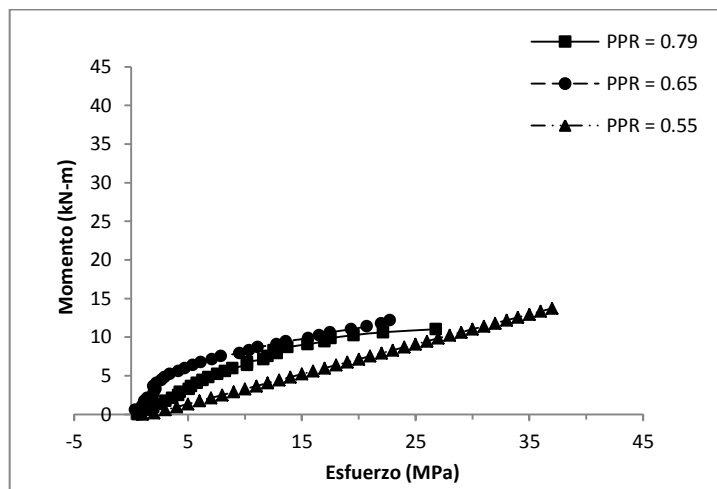


Figura G.18. Gráfica Momento-Esfuerzos en el concreto, Claro 2 (V-4, V-5 y V-6).

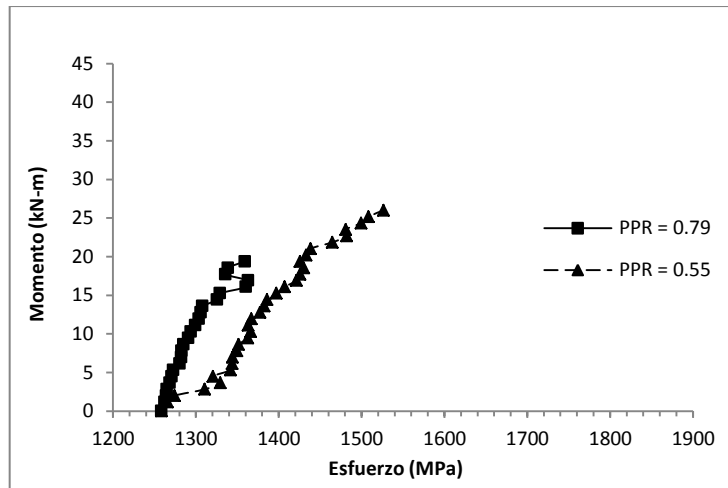


Figura G.19. Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Claro 1 (V-7, V-8 y V-9).

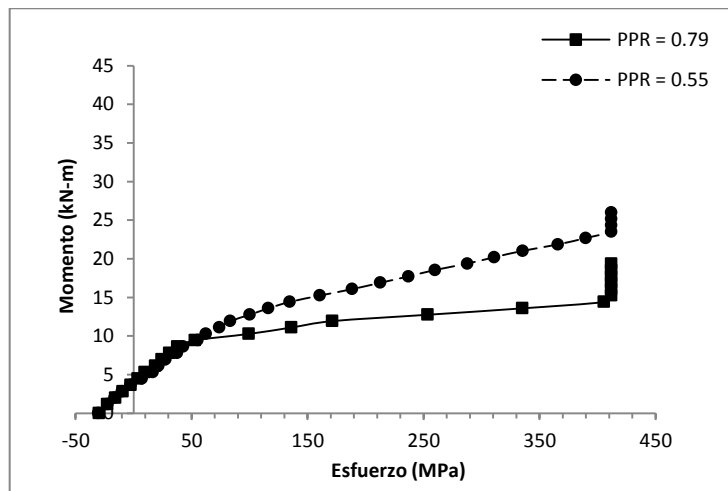


Figura G.20. Gráfica Momento-Esfuerzos: acero convencional, Claro 1 (V-7, V-8 y V-9).

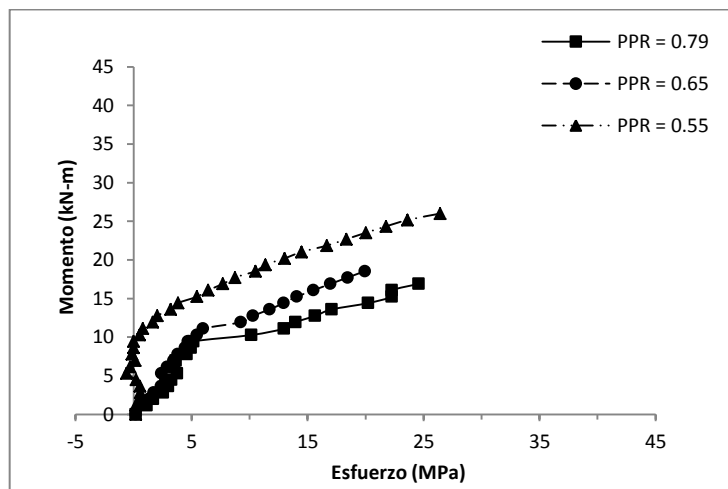


Figura G.21. Gráfica Momento-Esfuerzos en el concreto, Claro 1 (V-7, V-8 y V-9).

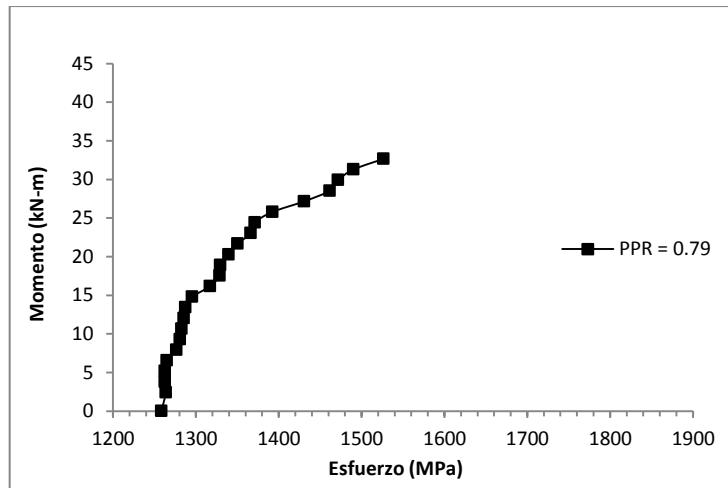


Figura G.22. Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Apoyo 2 (V-7, V-8 y V-9).

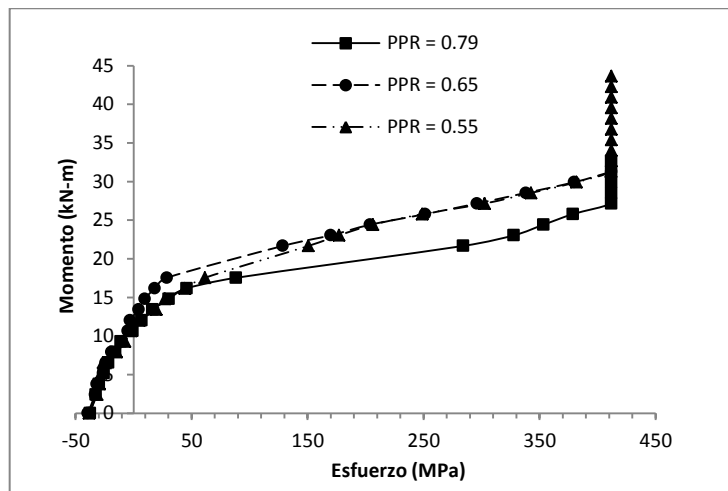


Figura G.23. Gráfica Momento-Esfuerzos en acero convencional, Apoyo 2 (V-7, V-8 y V-9).

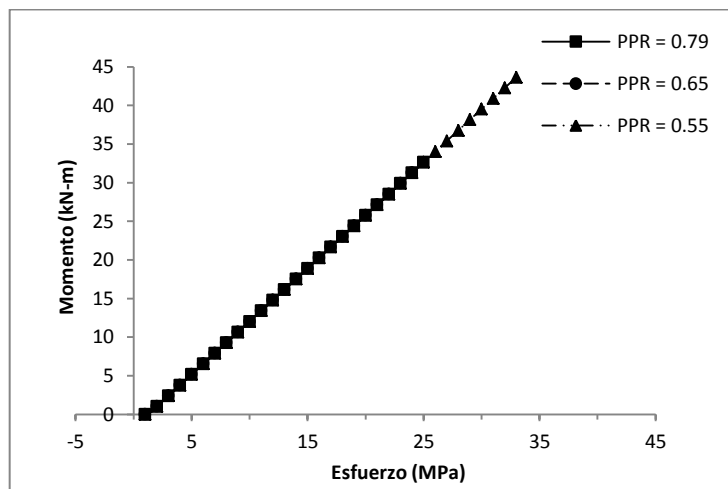


Figura G.24. Gráfica Momento-Esfuerzos en el concreto, Apoyo 2 (V-7, V-8 y V-9).

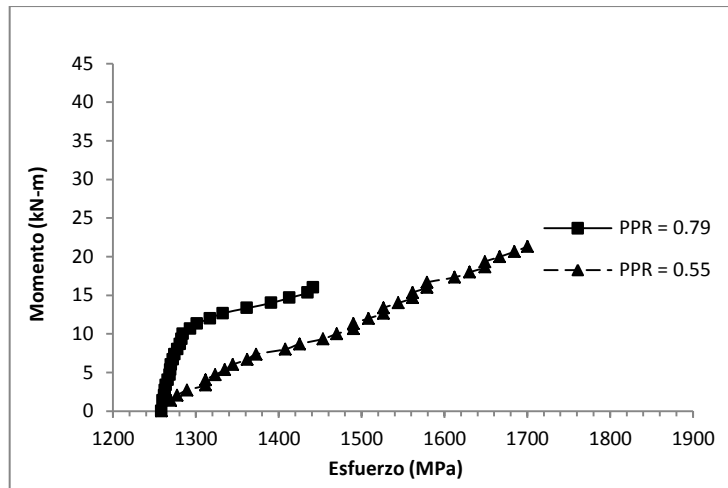


Figura G.25. Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Claro 2 (V-7, V-8 y V-9).

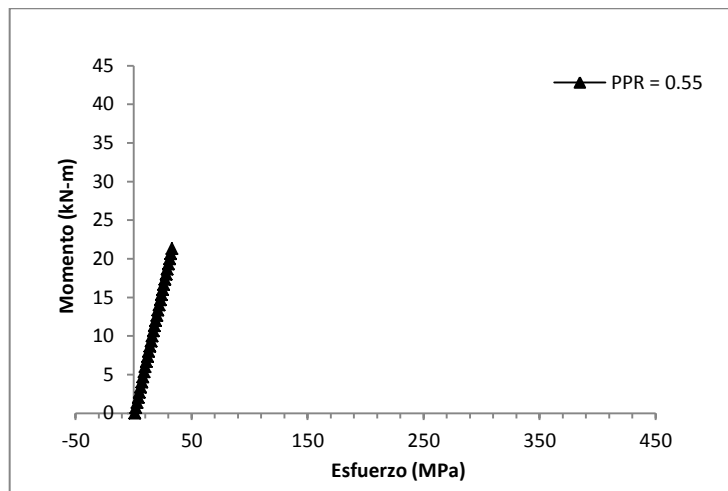


Figura G.26. Gráfica Momento-Esfuerzos: acero convencional, Claro 2 (V-7, V-8 y V-9).

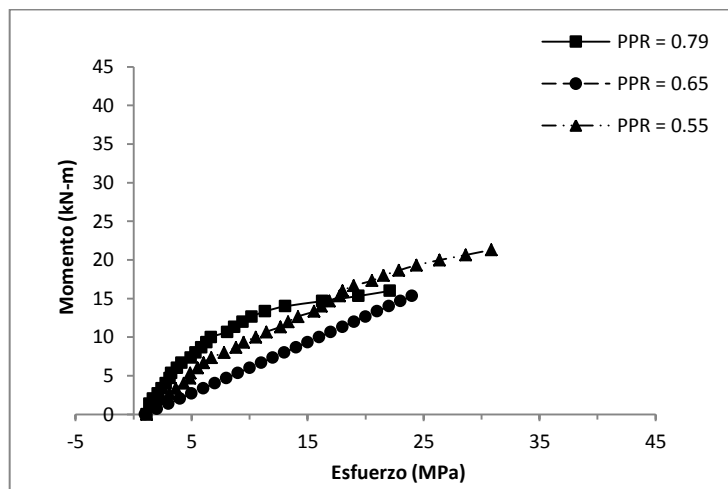


Figura G.27. Gráfica Momento-Esfuerzos en el concreto, Claro 2 (V-7, V-8 y V-9).

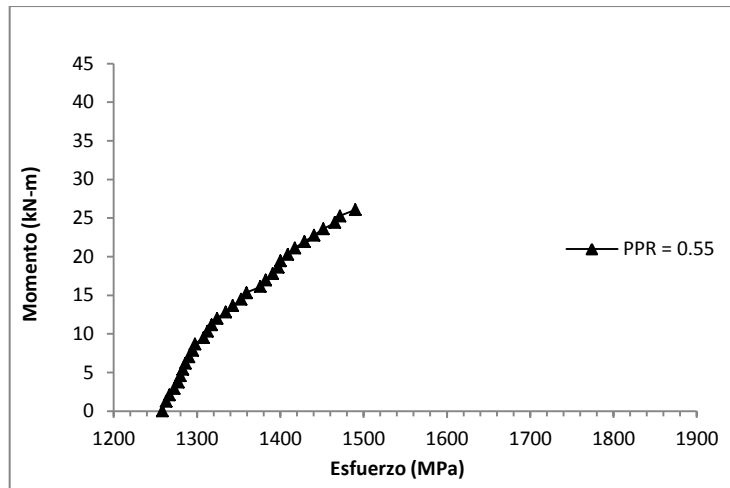


Figura G.28. Gráfica Momento-Esfuerzos: cables presfuerzo, Claro 1 (V-10, V-11 y V-12).

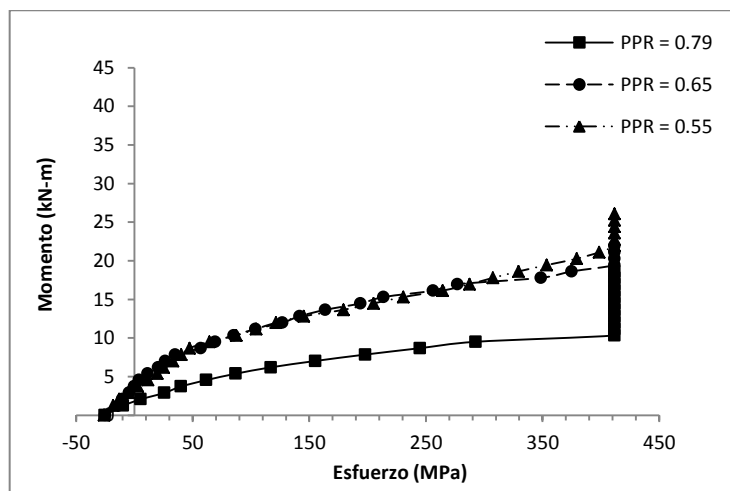


Figura G.29. Gráfica Momento-Esfuerzos: acero convencional, Claro 1 (V-10, V-11 y V-12).

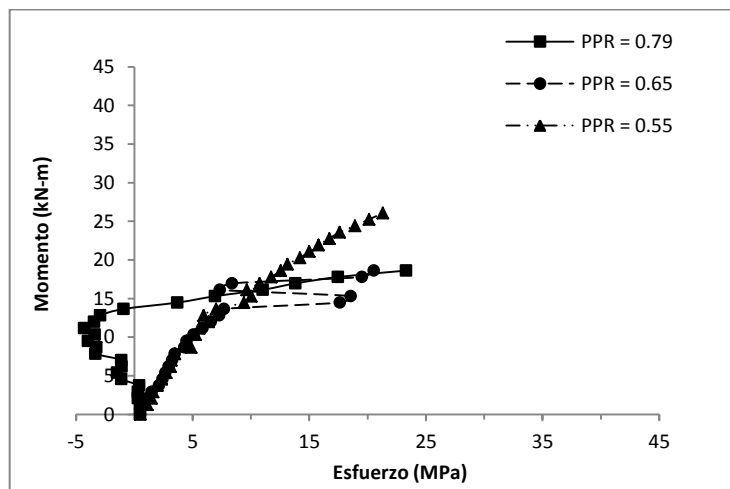


Figura G.30. Gráfica Momento-Esfuerzos en el concreto, Claro 1 (V-10, V-11 y V-12).

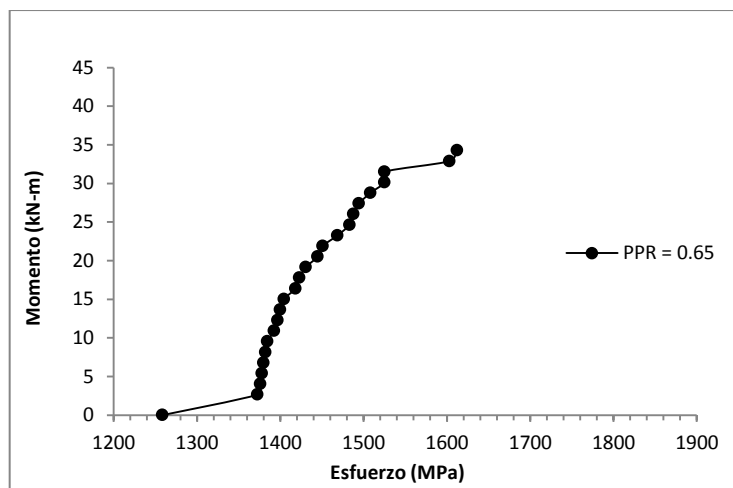


Figura G.31. Gráfica Momento-Esfuerzos: cables presfuerzo, Apoyo 2 (V-10, V-11 y V-12).

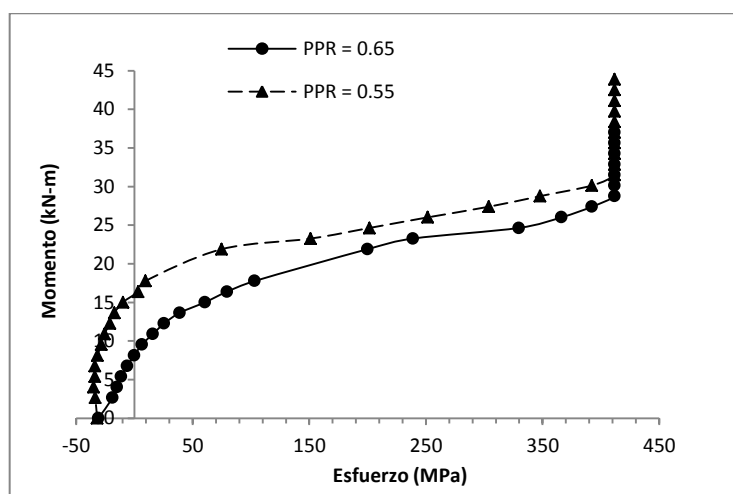


Figura G.32. Gráfica Momento-Esfuerzos: acero convencional, Apoyo 2 (V-10, V-11 y V-12).

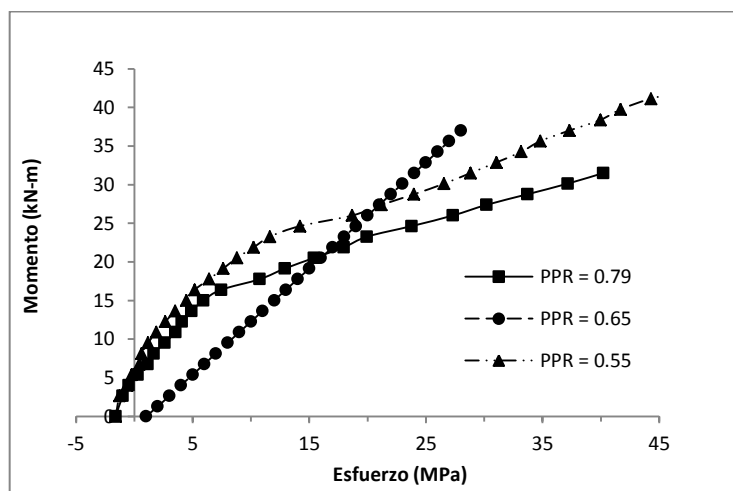


Figura G.33. Gráfica Momento-Esfuerzos en el concreto, Apoyo 2 (V-10, V-11 y V-12).

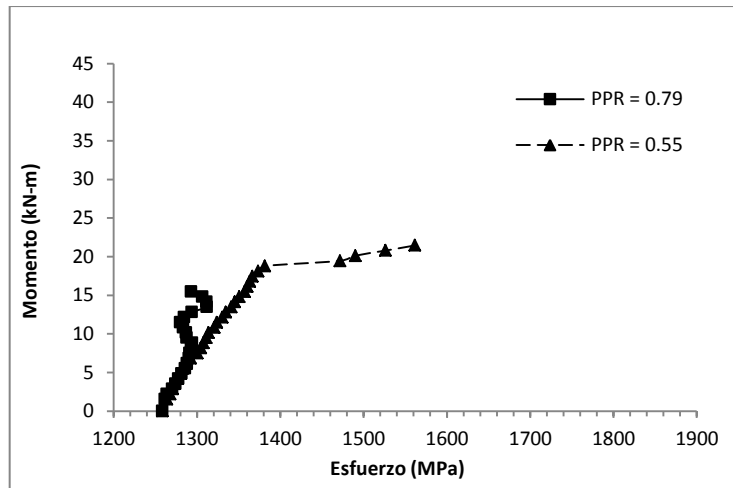


Figura G.34. Gráfica Momento-Esfuerzos: cables presfuerzo, Claro 2 (V-10, V-11 y V-12).

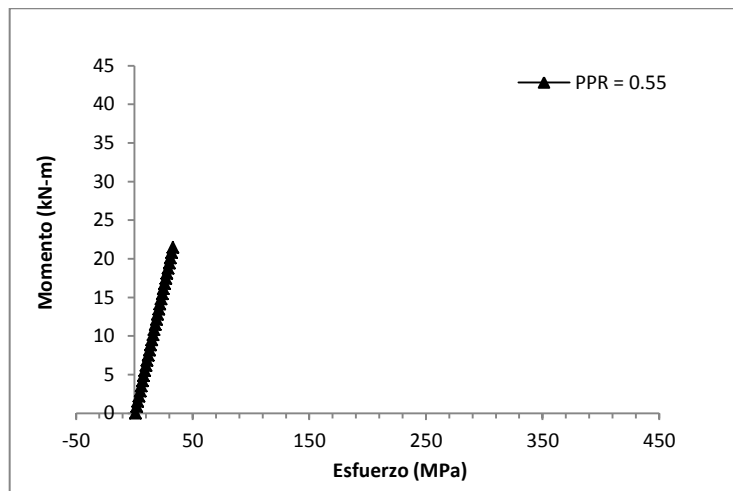


Figura G.35. Gráfica Momento-Esfuerzos: acero convencional, Claro 2 (V-10, V-11 y V-12).

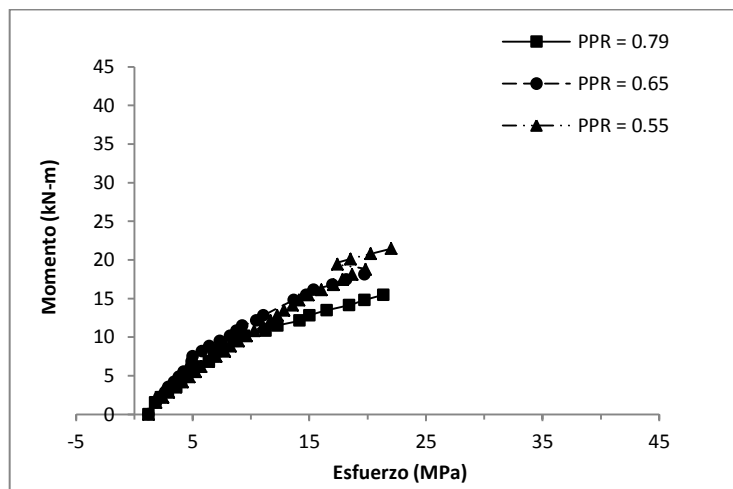


Figura G.36. Gráfica Momento-Esfuerzos en el concreto, Claro 2 (V-10, V-11 y V-12).



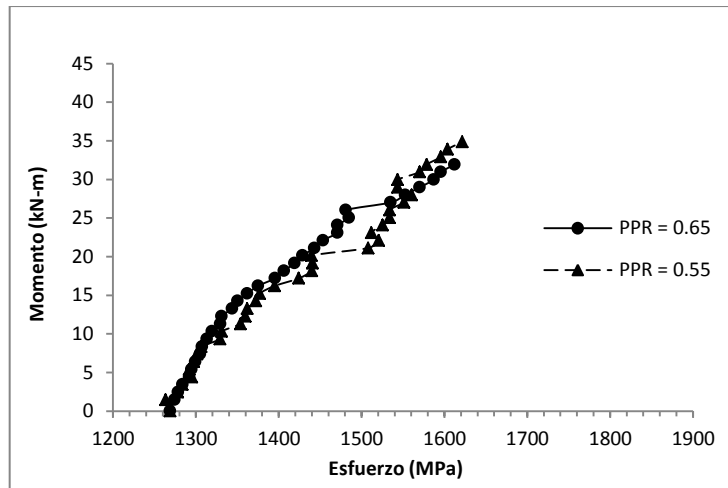


Figura G.37. Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Claro 3 (V-1, V-2 y V-3).

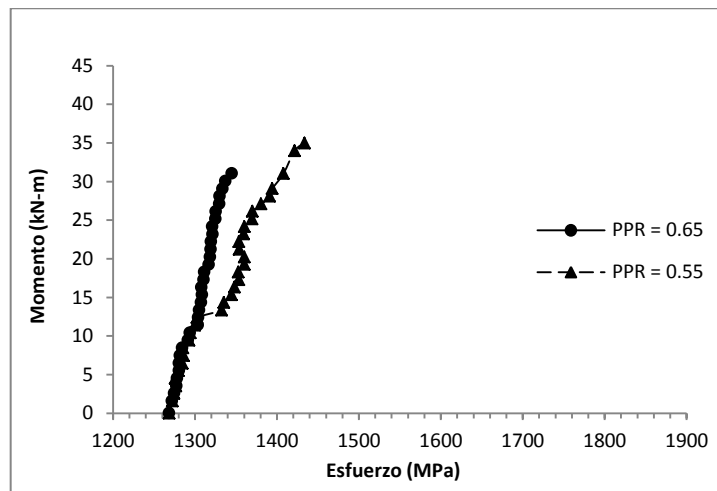


Figura G.38. Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Claro 3 (V-4, V-5 y V-6).

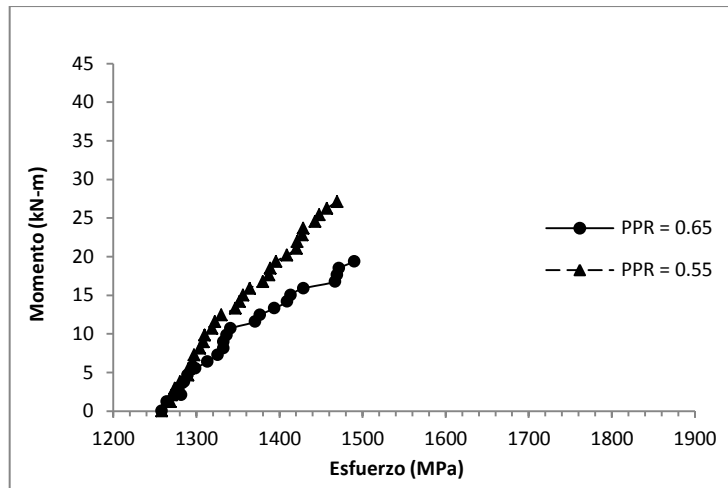


Figura G.39. Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Claro 3 (V-7, V-8 y V-9).

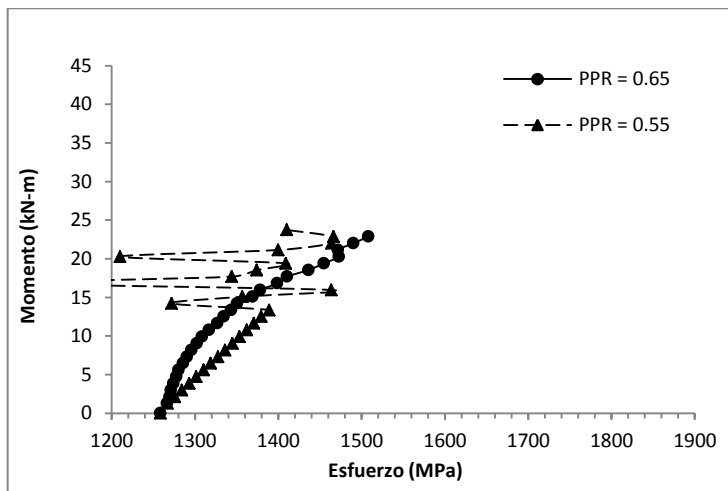


Figura G.40. Gráfica Momento-Esfuerzos: cables de presfuerzo, Claro 3 (V-10, V-11 y V-12).

## **APÉNDICE H**

### **GRÁFICAS DE MOMENTOS ACTUANTES VS. CURVATURA**

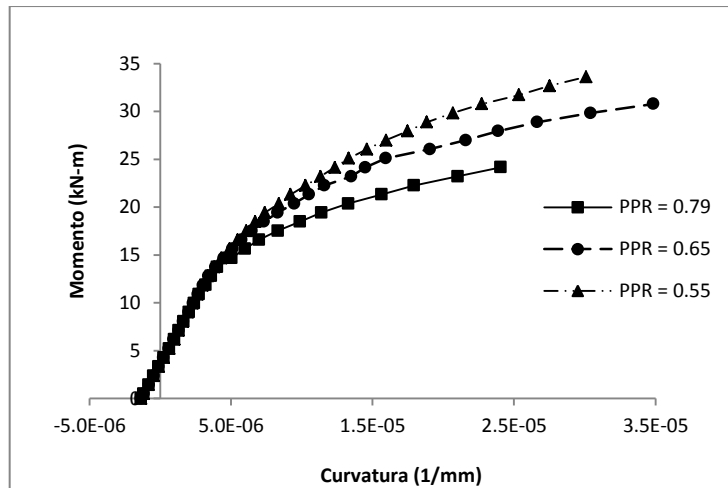


Figura H.1. Gráfica Momento-Curvatura vigas V-1, V-2 y V-3 Claro 1 (Sección 300 x 150 mm).

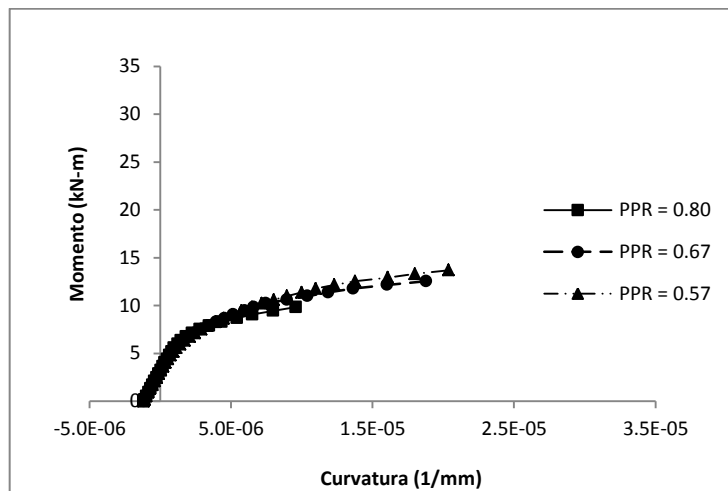


Figura H.2. Gráfica Momento-Curvatura vigas V-1, V-2 y V-3 Claro 2 (Sección 300 x 150 mm).

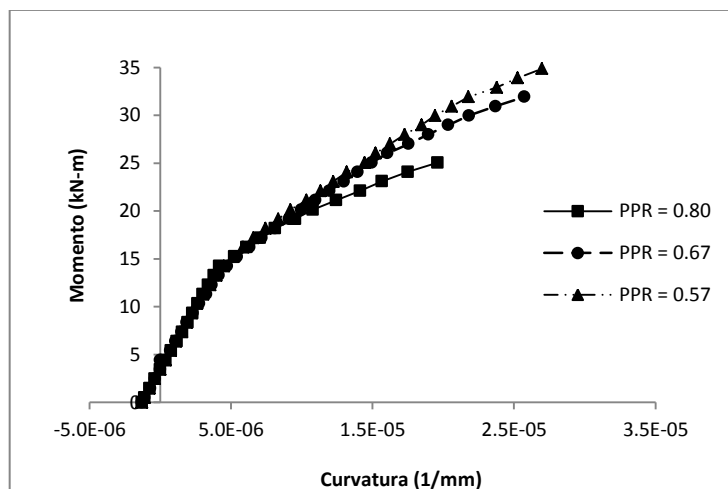


Figura H.3. Gráfica Momento-Curvatura vigas V-1, V-2 y V-3 Claro 3 (Sección 300 x 150 mm).

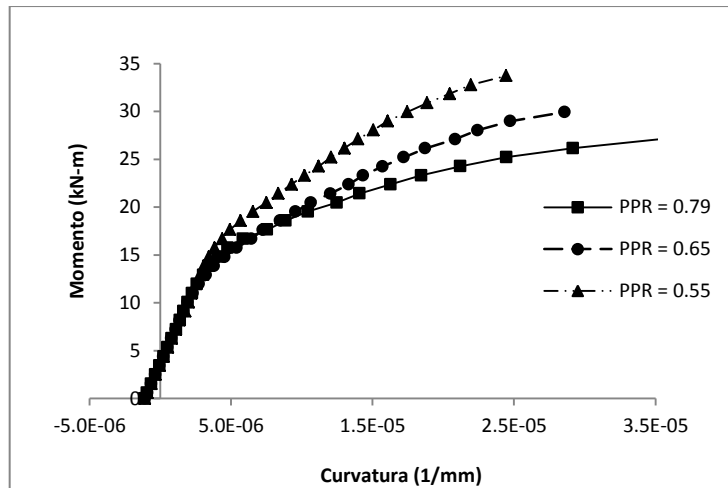


Figura H.4. Gráfica Momento-Curvatura vigas V-4, V-5 y V-6 Claro 1 (Sección 500 x 150 mm).

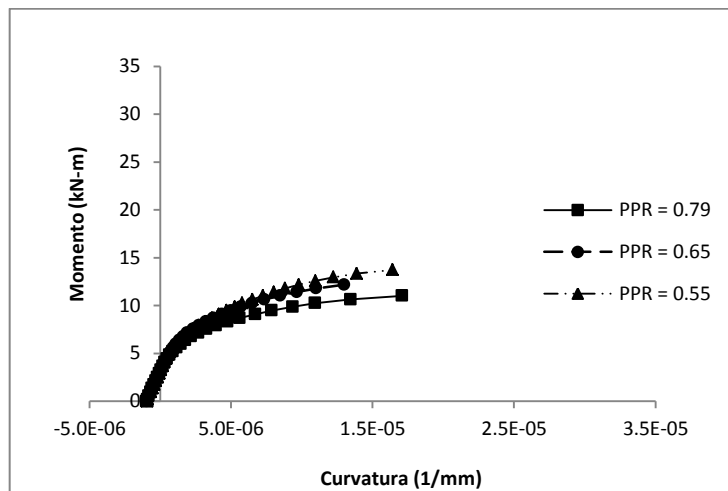


Figura H.5. Gráfica Momento-Curvatura vigas V-4, V-5 y V-6 Claro 2 (Sección 500 x 150 mm).

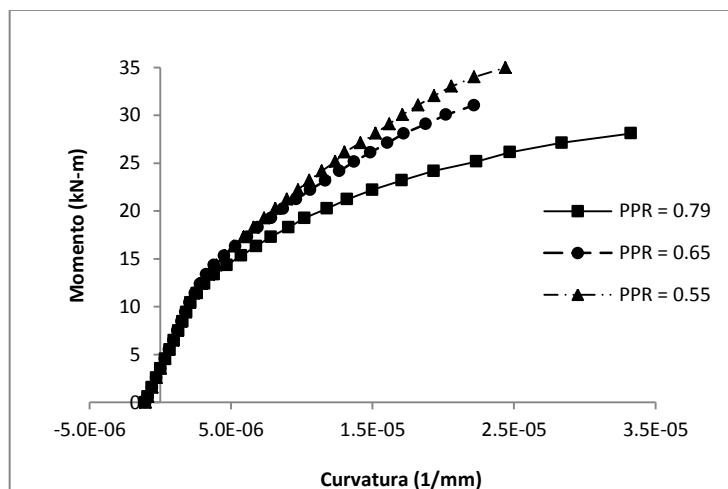


Figura H.6. Gráfica Momento-Curvatura vigas V-4, V-5 y V-6 Claro 3 (Sección 500 x 150 mm).

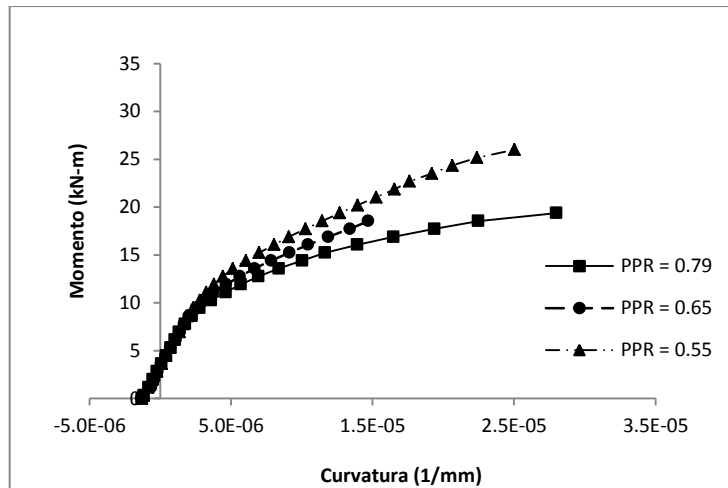


Figura H.7. Gráfica Momento-Curvatura vigas V-7, V-8 y V-9 Claro 1 (Sección 300 x 150 mm).

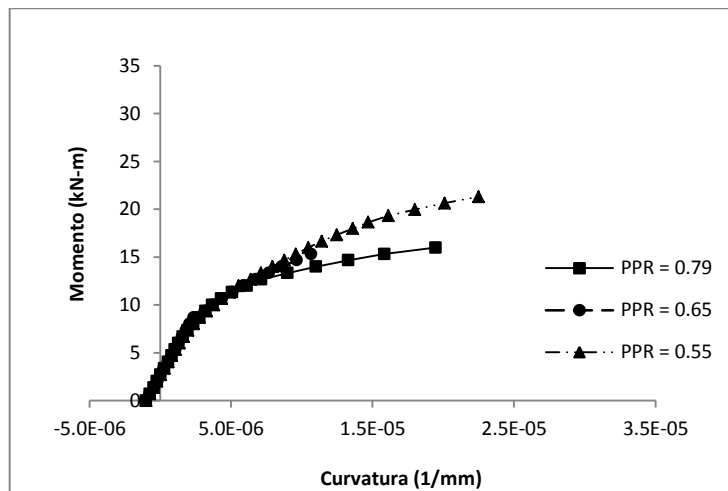


Figura H.8. Gráfica Momento-Curvatura vigas V-7, V-8 y V-9 Claro 2 (Sección 300 x 150 mm).

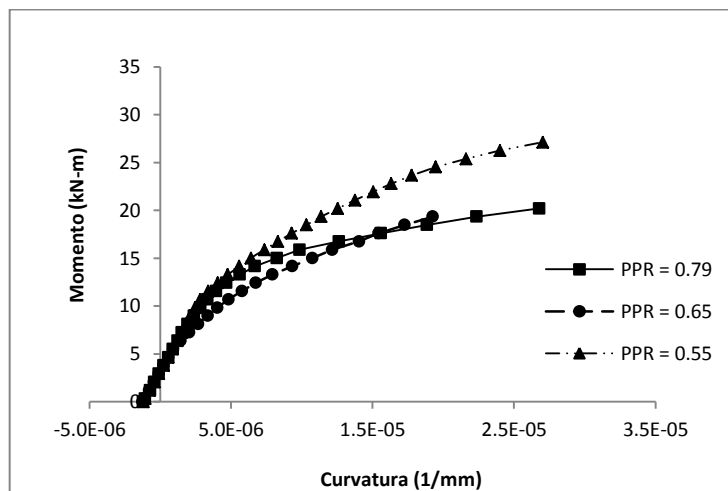


Figura H.9. Gráfica Momento-Curvatura vigas V-7, V-8 y V-9 Claro 3 (Sección 300 x 150 mm).

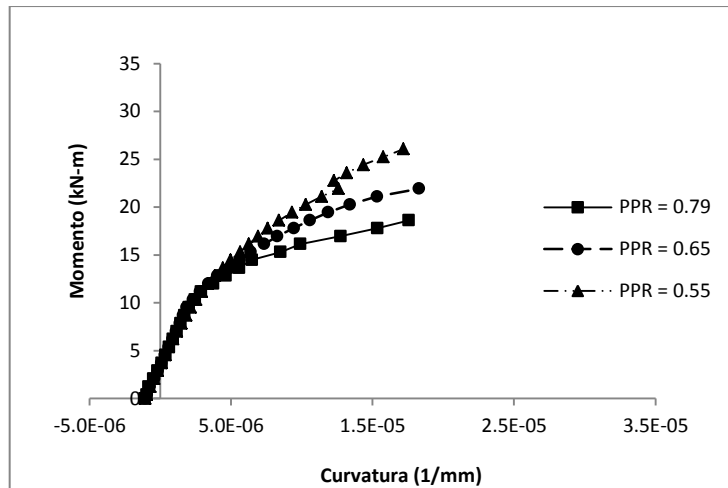


Figura H.10. Gráfica Momento-Curvatura vigas V-10, V-11 y V-12 Claro 1 (500 x 150 mm).

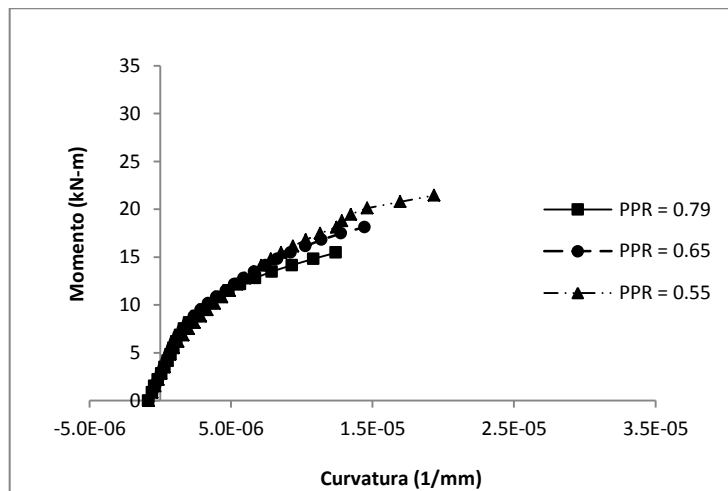


Figura H.11. Gráfica Momento-Curvatura vigas V-10, V-11 y V-12 Claro 2 (500 x 15 mm).

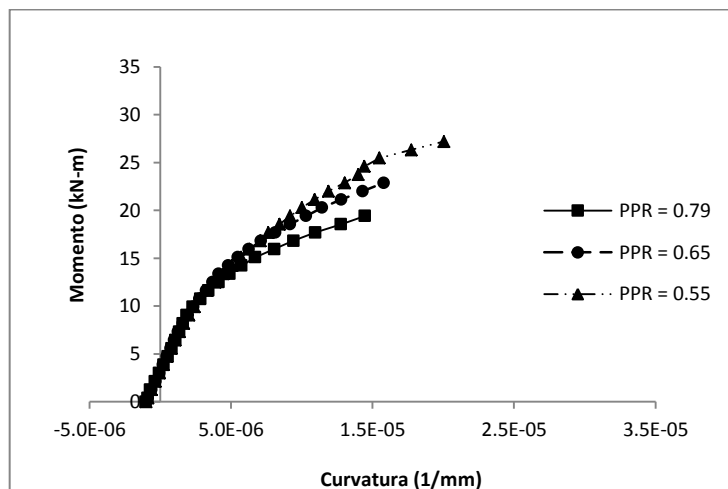


Figura H.12. Gráfica Momento-Curvatura vigas V-10, V-11 y V-12 Claro 3 (500 x 150 mm).

## **APÉNDICE I**

### **TABLAS DE ANCHOS DE GRIETA, FACTOR DE RIGIDEZ, RELACIÓN DE MOMENTOS Y DEFORMACIONES UNITARIAS EN FIBRA DE TENSIÓN**



Tabla I.1. Ancho de Grieta, Factor de Rigidez, Relación de Momentos y deformación unitaria en fibra de tensión para viga V-1 (PPR = 0.79).

CARGA TOTAL (kN)	ANCHO DE GRIETA MEDIDO (mm)					FACTOR DE RIGIDEZ "FR"			(Ma-Mcr)/(Mn-Mcr)					$\varepsilon_{ct}$ (mm/mm)					ANCHO DE GRIETA CALCULADO (mm)				
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	1 CL1	2 CL2	3 CL3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.01	1.00	0.98	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.26E-04	-4.86E-04	-3.15E-04	-4.86E-04	-3.26E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10.08	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.01	1.00	0.98	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.46E-04	-4.32E-04	-3.11E-04	-4.32E-04	-2.46E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20.17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.00	1.01	0.98	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-8.19E-05	-3.71E-04	-3.06E-04	-3.71E-04	-8.19E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30.25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.97	0.99	0.95	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.09E-04	-3.22E-04	-3.01E-04	-3.22E-04	-1.09E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40.34	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.94	0.97	0.95	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-6.84E-05	-2.76E-04	-2.99E-04	-2.76E-04	-6.84E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50.42	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.94	0.93	0.94	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.99E-05	-2.26E-04	-2.94E-04	-2.26E-04	-3.99E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60.51	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.97	0.96	0.94	0.000	0.077	0.000	0.000	0.000	-1.46E-05	-1.79E-04	-2.93E-04	-1.79E-04	-1.46E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70.59	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.99	0.96	0.94	0.000	0.154	0.000	0.000	0.000	1.01E-04	-1.13E-04	-2.89E-04	-1.13E-04	1.01E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80.68	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	1.00	0.97	0.94	0.000	0.231	0.000	0.000	0.000	1.26E-04	2.19E-05	-2.84E-04	2.19E-05	1.26E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90.76	0.005	0.018	0.000	0.000	0.000	0.99	1.01	0.96	0.000	0.308	0.000	0.000	0.000	1.32E-04	-4.41E-05	-2.79E-04	-4.41E-05	1.32E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100.85	0.010	0.025	0.000	0.000	0.000	0.99	1.03	0.97	0.083	0.385	0.000	0.000	0.000	1.76E-04	2.89E-05	-2.75E-04	2.89E-05	1.76E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110.93	0.013	0.043	0.000	0.005	0.005	0.99	0.95	0.97	0.167	0.462	0.000	0.000	0.000	1.85E-04	3.51E-04	-2.72E-04	3.51E-04	1.85E-04	0.01	0.04	0.00	0.04	0.01
121.02	0.015	0.060	0.000	0.010	0.010	0.96	0.96	0.97	0.250	0.538	0.000	0.143	0.100	2.15E-04	4.00E-04	-2.70E-04	4.00E-04	2.15E-04	0.01	0.04	0.00	0.04	0.01
131.10	0.023	0.085	0.005	0.020	0.020	0.95	0.95	0.97	0.333	0.615	0.000	0.286	0.200	1.98E-04	1.92E-04	-2.67E-04	1.92E-04	1.98E-04	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
141.19	0.030	0.110	0.010	0.030	0.030	0.94	0.94	0.97	0.417	0.692	0.083	0.429	0.300	1.80E-04	3.00E-04	-2.63E-04	3.00E-04	1.80E-04	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00
151.27	0.070	0.125	0.018	0.070	0.040	0.83	0.87	0.84	0.500	0.769	0.167	0.571	0.400	6.35E-04	1.23E-03	-2.55E-04	1.23E-03	6.35E-04	0.05	0.18	0.00	0.18	0.05
161.35	0.110	0.140	0.025	0.110	0.050	0.78	0.84	0.79	0.583	0.846	0.250	0.714	0.500	9.69E-04	1.63E-03	-2.48E-04	1.63E-03	9.69E-04	0.08	0.25	0.00	0.25	0.08
171.44	0.125	0.195	0.035	0.230	0.065	0.72	0.76	0.73	0.667	0.923	0.333	0.857	0.600	1.31E-03	2.15E-03	-2.22E-04	2.15E-03	1.31E-03	0.12	0.33	0.00	0.33	0.12
181.52	0.140	0.250	0.045	0.350	0.080	0.64	0.69	0.68	0.750	1.000	0.417	1.000	0.700	1.64E-03	2.62E-03	-2.14E-04	2.62E-03	1.64E-03	0.15	0.41	0.00	0.41	0.15
191.61	0.160	0.350	0.053	0.490	0.100	0.57	0.60	0.62	0.833		0.500		0.800	1.69E-03	3.22E-03	-1.92E-04	3.22E-03	1.69E-03	0.15	0.51	0.00	0.51	0.15
201.69	0.180	0.450	0.060	0.630	0.120	0.53	0.54	0.59	0.917		0.583		0.900	2.11E-03	3.80E-03	-1.74E-04	3.80E-03	2.11E-03	0.19	0.61	0.00	0.61	0.19
211.78	0.215	0.635	0.070	0.745	0.150	0.48	0.47	0.54	1.000		0.667		1.000	2.40E-03	4.95E-03	-1.01E-04	4.95E-03	2.40E-03	0.22	0.80	0.00	0.80	0.22
221.86	0.250	0.820	0.080	0.860	0.180	0.43	0.41	0.50			0.750			2.88E-03	7.09E-03	-1.19E-04	7.09E-03	2.88E-03	0.27	1.15	0.00	1.15	0.27
231.95	0.300	1.010	0.120	1.130	0.215	0.39	0.36	0.48			0.833			3.31E-03	1.39E-02	-8.95E-05	1.39E-02	3.31E-03	0.31	2.28	0.00	2.28	0.31
242.03	0.350	1.200	0.160	1.400	0.250	0.35	0.31	0.45			0.917			3.71E-03	1.63E-02	-7.24E-05	1.63E-02	3.71E-03	0.35	2.68	0.00	2.68	0.35
252.12	0.925	2.700	0.335	2.035	0.400	0.32	0.28	0.42			1.000			4.15E-03	2.92E-02	-3.69E-05	2.92E-02	4.15E-03	0.39	4.82	0.00	4.82	0.39

Tabla I.2. Ancho de Grieta, Factor de Rigidez, Relación de Momentos y deformación unitaria en fibra de tensión para viga V-2 (PPR = 0.65).

CARGA TOTAL (kN)	ANCHO DE GRIETA MEDIDO (mm)					FACTOR DE RIGIDEZ "FR"			(Ma-Mcr)/(Mn-Mcr)					$\varepsilon_{ct}$ (mm/mm)					ANCHO DE GRIETA CALCULADO (mm)				
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	1 CL1	2 CL2	3 CL3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.02	1.02	1.04	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.28E-04	-4.90E-04	-3.17E-04	-4.90E-04	-3.28E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.02	1.02	1.04	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.88E-04	-4.51E-04	-3.12E-04	-4.51E-04	-2.88E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.02	1.01	1.04	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.62E-04	-4.02E-04	-3.08E-04	-4.02E-04	-2.62E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.04	1.00	1.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.29E-04	-3.58E-04	-3.04E-04	-3.58E-04	-2.29E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.02	0.98	0.98	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.74E-04	-2.88E-04	-3.01E-04	-2.88E-04	-1.74E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.98	0.99	1.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.30E-04	-2.39E-04	-2.95E-04	-2.39E-04	-1.30E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	1.00	0.99	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.01E-04	-2.11E-04	-2.93E-04	-2.11E-04	-1.01E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00	1.01	0.95	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-4.42E-05	-1.56E-04	-2.88E-04	-1.56E-04	-4.42E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.01	0.94	0.97	0.000	0.000	0.000	0.000	0.050	-6.93E-06	-1.12E-04	-2.83E-04	-1.12E-04	-6.93E-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90.76	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.99	0.96	0.95	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	4.37E-05	-3.23E-05	-2.80E-04	-3.23E-05	4.37E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100.85	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	1.01	0.99	0.92	0.000	0.091	0.048	0.000	0.150	7.49E-05	2.95E-05	-2.77E-04	2.95E-05	7.49E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110.93	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	1.01	0.96	0.90	0.000	0.182	0.095	0.000	0.200	1.16E-04	1.26E-04	-2.73E-04	1.26E-04	1.16E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
121.02	0.00	0.03	0.03	0.00	0.02	1.00	0.94	0.91	0.000	0.273	0.143	0.000	0.250	1.59E-04	1.84E-04	-2.72E-04	1.84E-04	1.59E-04	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
131.10	0.01	0.05	0.03	0.01	0.03	1.00	0.88	0.89	0.000	0.364	0.190	0.000	0.300	2.74E-04	3.12E-04	-2.70E-04	3.12E-04	2.74E-04	0.01	0.03	0.00	0.03	0.01
141.19	0.01	0.07	0.04	0.01	0.03	0.96	0.82	0.87	0.071	0.455	0.238	0.143	0.350	3.23E-04	6.75E-04	-2.65E-04	6.75E-04	3.23E-04	0.02	0.08	0.00	0.08	0.02
151.27	0.02	0.10	0.04	0.02	0.03	0.92	0.77	0.82	0.143	0.545	0.286	0.286	0.400	4.23E-04	1.02E-03	-2.61E-04	1.02E-03	4.23E-04	0.03	0.14	0.00	0.14	0.03
161.35	0.02	0.12	0.05	0.02	0.04	0.88	0.71	0.76	0.214	0.636	0.333	0.429	0.450	5.20E-04	1.36E-03	-2.47E-04	1.36E-03	5.20E-04	0.04	0.19	0.00	0.19	0.04
171.44	0.02	0.14	0.05	0.04	0.05	0.85	0.66	0.72	0.286	0.727	0.381	0.571	0.500	5.34E-04	1.71E-03	-2.35E-04	1.71E-03	5.34E-04	0.04	0.24	0.00	0.24	0.04
181.52	0.03	0.16	0.05	0.06	0.05	0.81	0.61	0.68	0.357	0.818	0.429	0.714	0.550	6.55E-04	1.89E-03	-2.25E-04	1.89E-03	6.55E-04	0.05	0.27	0.00	0.27	0.05
191.61	0.03	0.17	0.06	0.09	0.06	0.78	0.56	0.65	0.429	0.909	0.476	0.857	0.600	8.12E-04	2.14E-03	-2.18E-04	2.14E-03	8.12E-04	0.06	0.31	0.00	0.31	0.06
201.69	0.04	0.18	0.06	0.12	0.06	0.73	0.52	0.63	0.500	1.000	0.524	1.000	0.650	1.01E-03	2.40E-03	-2.09E-04	2.40E-03	1.01E-03	0.08	0.35	0.00	0.35	0.08
211.78	0.06	0.23	0.09	0.14	0.07	0.67	0.48	0.60	0.571		0.571		0.700	1.53E-03	2.73E-03	-2.06E-04	2.73E-03	1.53E-03	0.13	0.40	0.00	0.40	0.13
221.86	0.09	0.27	0.11	0.17	0.08	0.64	0.45	0.58	0.643		0.619		0.750	1.70E-03	3.03E-03	-1.95E-04	3.03E-03	1.70E-03	0.14	0.45	0.00	0.45	0.14
231.95	0.09	0.33	0.14	0.19	0.09	0.61	0.43	0.56	0.714		0.667		0.800	1.57E-03	3.31E-03	-1.86E-04	3.31E-03	1.57E-03	0.13	0.49	0.00	0.49	0.13
242.03	0.10	0.39	0.16	0.21	0.10	0.55	0.39	0.55	0.786		0.714		0.850	1.89E-03	3.90E-03	-1.71E-04	3.90E-03	1.89E-03	0.16	0.59	0.00	0.59	0.16
252.12	0.11	0.61	0.20	0.31	0.10	0.53	0.38	0.54	0.857		0.762		0.900	2.05E-03	4.04E-03	-1.62E-04	4.04E-03	2.05E-03	0.18	0.61	0.00	0.61	0.18
262.20	0.12	0.82	0.24	0.41	0.11	0.50	0.35	0.52	0.929		0.810		0.950	2.28E-03	4.51E-03	-1.50E-04	4.51E-03	2.28E-03	0.20	0.68	0.00	0.68	0.20
272.29	0.13	1.04	0.28	0.50	0.11	0.44	0.31	0.50	1.000		0.857		1.000	2.82E-03	5.30E-03	-1.31E-04	5.30E-03	2.82E-03	0.25	0.80	0.00	0.80	0.25
282.37	0.14	1.25	0.31	0.60	0.12	0.40	0.28	0.48			0.905			3.13E-03	5.38E-03	-1.14E-04	5.38E-03	3.13E-03	0.27	0.81	0.00	0.81	0.27
292.46	0.15	1.65	0.33	0.69	0.13	0.38	0.26	0.47			0.952			3.43E-03	6.55E-03	-1.04E-04	6.55E-03	3.43E-03	0.30	1.00	0.00	1.00	0.30
302.54	0.16	2.05	0.34	0.78	0.14	0.35	0.23	0.45			1.000			3.84E-03	1.09E-02	-8.78E-05	1.09E-02	3.84E-03	0.34	1.67	0.00	1.67	0.34
312.63	0.19	2.66	0.46	1.08	0.15	0.32	0.21	0.43						4.04E-03	5.25E-03	-6.56E-05	5.25E-03	4.04E-03	0.36		0.00	0.00	0.36
322.71	0.22	3.27	0.57	1.37	0.16	0.29	0.19	0.41						4.45E-03	5.19E-03	-3.38E-05	5.19E-03	4.45E-03	0.40		0.00	0.00	0.40

Tabla I.3. Ancho de Grieta, Factor de Rigidez, Relación de Momentos y deformación unitaria en fibra de tensión para viga V-3 (PPR = 0.55).

CARGA TOTAL (kN)	ANCHO DE GRIETA MEDIDO (mm)					FACTOR DE RIGIDEZ "FR"			(Ma-Mcr)/(Mn-Mcr)					$\epsilon_{ct}$ (mm/mm)					ANCHO DE GRIETA CALCULADO (mm)				
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	1 CL1	2 CL2	3 CL3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.97	0.97	0.97	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.35E-04	-4.99E-04	-3.24E-04	-4.99E-04	-3.35E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10.08	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.97	0.97	0.97	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.73E-04	-4.74E-04	-3.08E-04	-4.74E-04	-3.73E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20.17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.98	0.97	0.96	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.84E-04	-3.70E-04	-3.02E-04	-3.70E-04	-2.84E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30.25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.95	0.94	0.97	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.47E-04	-2.79E-04	-2.91E-04	-2.79E-04	-2.47E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40.34	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.94	0.93	0.96	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.58E-04	-1.67E-04	-2.87E-04	-1.67E-04	-1.58E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50.42	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.96	0.94	0.98	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.69E-04	-1.12E-04	-2.76E-04	-1.12E-04	-1.69E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60.51	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.96	0.97	0.99	0.000	0.063	0.000	0.000	0.000	-1.45E-04	-3.45E-05	-2.69E-04	-3.45E-05	-1.45E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70.59	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	1.01	0.98	0.95	0.000	0.125	0.000	0.000	0.000	-9.87E-05	5.75E-05	-2.60E-04	5.75E-05	-9.87E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80.68	0.000	0.020	0.010	0.000	0.000	1.03	1.00	0.97	0.000	0.188	0.000	0.000	0.000	-5.76E-05	1.54E-04	-2.53E-04	1.54E-04	-5.76E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90.76	0.000	0.030	0.013	0.000	0.005	1.04	0.91	0.98	0.000	0.250	0.037	0.000	0.000	7.08E-05	3.03E-04	-2.50E-04	3.03E-04	7.08E-05	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00
100.85	0.000	0.040	0.015	0.000	0.010	1.03	0.90	0.99	0.000	0.313	0.074	0.000	0.045	9.81E-05	3.78E-04	-2.41E-04	3.78E-04	9.81E-05	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00
110.93	0.000	0.045	0.016	0.000	0.012	1.04	0.89	0.97	0.000	0.375	0.111	0.000	0.091	2.29E-04	5.69E-04	-2.40E-04	5.69E-04	2.29E-04	0.01	0.06	0.00	0.06	0.01
121.02	0.000	0.060	0.018	0.010	0.013	1.03	0.87	0.94	0.000	0.438	0.148	0.000	0.136	2.67E-04	7.28E-04	-2.32E-04	7.28E-04	2.67E-04	0.01	0.08	0.00	0.08	0.01
131.10	0.000	0.080	0.019	0.015	0.015	1.02	0.85	0.93	0.000	0.500	0.185	0.111	0.182	2.65E-04	8.89E-04	-2.17E-04	8.89E-04	2.65E-04	0.01	0.11	0.00	0.11	0.01
141.19	0.000	0.100	0.020	0.020	0.027	1.00	0.83	0.90	0.000	0.563	0.222	0.222	0.227	3.34E-04	1.10E-03	-2.10E-04	1.10E-03	3.34E-04	0.01	0.14	0.00	0.14	0.01
151.27	0.000	0.125	0.030	0.033	0.030	0.96	0.78	0.86	0.000	0.625	0.259	0.333	0.273	3.88E-04	1.29E-03	-1.99E-04	1.29E-03	3.88E-04	0.02	0.16	0.00	0.16	0.02
161.35	0.010	0.150	0.040	0.045	0.033	0.92	0.73	0.82	0.000	0.688	0.296	0.444	0.318	4.89E-04	1.53E-03	-1.92E-04	1.53E-03	4.89E-04	0.03	0.20	0.00	0.20	0.03
171.44	0.011	0.160	0.060	0.065	0.038	0.90	0.68	0.78	0.067	0.750	0.333	0.556	0.364	6.42E-04	1.84E-03	-1.88E-04	1.84E-03	6.42E-04	0.04	0.24	0.00	0.24	0.04
181.52	0.013	0.170	0.080	0.085	0.042	0.87	0.64	0.74	0.133	0.813	0.370	0.667	0.409	7.79E-04	2.05E-03	-1.84E-04	2.05E-03	7.79E-04	0.05	0.28	0.00	0.28	0.05
191.61	0.019	0.205	0.095	0.103	0.046	0.85	0.59	0.71	0.200	0.875	0.407	0.778	0.455	8.57E-04	2.19E-03	-1.72E-04	2.19E-03	8.57E-04	0.06	0.30	0.00	0.30	0.06
201.69	0.025	0.240	0.110	0.120	0.050	0.83	0.56	0.68	0.267	0.937	0.444	0.889	0.500	9.11E-04	2.36E-03	-1.60E-04	2.36E-03	9.11E-04	0.06	0.32	0.00	0.32	0.06
211.78	0.031	0.280	0.128	0.143	0.063	0.78	0.52	0.64	0.333	1.000	0.481	1.000	0.545	1.17E-03	2.79E-03	-1.56E-04	2.79E-03	1.17E-03	0.09	0.38	0.00	0.38	0.09
221.86	0.038	0.320	0.145	0.165	0.075	0.75	0.49	0.62	0.400		0.519		0.591	1.28E-03	2.98E-03	-1.50E-04	2.98E-03	1.28E-03	0.10	0.41	0.00	0.41	0.10
231.95	0.044	0.343	0.161	0.188	0.088	0.70	0.46	0.60	0.467		0.556		0.636	1.34E-03	3.17E-03	-1.35E-04	3.17E-03	1.34E-03	0.10	0.44	0.00	0.44	0.10
242.03	0.050	0.365	0.177	0.210	0.100	0.67	0.43	0.58	0.533		0.593		0.682	1.59E-03	3.48E-03	-1.35E-04	3.48E-03	1.59E-03	0.12	0.49	0.00	0.49	0.12
252.12	0.059	0.380	0.195	0.263	0.118	0.64	0.41	0.56	0.600		0.630		0.727	1.71E-03	3.75E-03	-1.26E-04	3.75E-03	1.71E-03	0.13	0.53	0.00	0.53	0.13
262.20	0.068	0.395	0.213	0.315	0.135	0.62	0.39	0.55	0.667		0.667		0.773	1.82E-03	3.93E-03	-1.19E-04	3.93E-03	1.82E-03	0.14	0.55	0.00	0.55	0.14
272.29	0.076	0.433	0.232	0.368	0.153	0.59	0.37	0.54	0.733		0.704		0.818	2.02E-03	4.20E-03	-1.14E-04	4.20E-03	2.02E-03	0.16	0.59	0.00	0.59	0.16
282.37	0.085	0.470	0.250	0.420	0.170	0.56	0.35	0.53	0.800		0.741		0.864	2.22E-03	4.50E-03	-1.05E-04	4.50E-03	2.22E-03	0.18	0.64	0.00	0.64	0.18
292.46	0.100	0.553	0.278	0.523	0.175	0.53	0.33	0.52	0.867		0.778		0.909	2.36E-03	4.97E-03	-9.00E-05	4.97E-03	2.36E-03	0.19	0.70	0.00	0.70	0.19
302.54	0.115	0.635	0.305	0.625	0.180	0.51	0.31	0.51	0.933		0.815		0.955	2.49E-03	6.30E-03	-6.50E-05	6.30E-03	2.49E-03	0.20	0.90	0.00	0.90	0.20
312.63	0.148	0.718	0.333	0.728	0.185	0.48	0.29	0.50	1.000		0.852		1.000	2.76E-03	1.40E-02	-4.89E-05	1.40E-02	2.76E-03	0.22	2.02	0.00	2.02	0.22
322.71	0.180	0.800	0.360	0.830	0.190	0.45	0.27	0.49			0.889			2.96E-03	1.78E-02	-2.64E-05	1.78E-02	2.96E-03	0.24	2.59	0.00	2.59	0.24
332.79	0.203	1.085	0.422	1.025	0.209	0.42	0.24	0.46			0.926			3.31E-03	1.88E-02	2.33E-06	1.88E-02	3.31E-03	0.27	2.73	0.00	2.73	0.27
342.88	0.230	1.370	0.485	1.215	0.229	0.40	0.22	0.45			0.963			3.53E-03	1.93E-02	2.66E-05	1.93E-02	3.53E-03	0.29	2.81	0.00	2.81	0.29
352.96	0.258	1.650	0.545	1.410	0.248	0.37	0.20	0.44			1.000			3.82E-03	2.02E-02	5.45E-05	2.02E-02	3.82E-03	0.32	2.94	0.00	2.94	0.32

Tabla I.4. Ancho de Grieta, Factor de Rigidez, Relación de Momentos y deformación unitaria en fibra de tensión para viga V-4 (PPR = 0.79).

CARGA TOTAL (kN)	ANCHO DE GRIETA MEDIDO (mm)					FACTOR RIGIDEZ "FR"			(Ma-Mcr)/(Mn-Mcr)					$\varepsilon_{ct}$ (mm/mm)					ANCHO DE GRIETA CALCULADO (mm)				
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	1 CL1	2 CL2	3 CL3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.03	0.98	0.98	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.53E-04	-4.11E-04	-2.48E-04	-4.11E-04	-2.53E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10.08	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.03	0.98	0.98	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.00E-04	-3.80E-04	-2.20E-04	-3.80E-04	-2.00E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20.17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.01	0.98	0.97	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.71E-04	-3.19E-04	-1.69E-04	-3.19E-04	-1.71E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30.25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.02	0.93	0.97	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.38E-04	-2.56E-04	-1.29E-04	-2.56E-04	-1.38E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40.34	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.99	0.96	0.93	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.22E-04	-2.20E-04	-8.79E-05	-2.20E-04	-1.22E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50.42	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.00	0.96	0.94	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-9.88E-05	-1.64E-04	-4.41E-05	-1.64E-04	-9.88E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60.51	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.00	0.99	0.96	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-6.73E-05	-1.05E-04	9.14E-06	-1.05E-04	-6.73E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70.59	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.99	0.96	0.97	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.55E-05	-6.62E-05	5.41E-05	-6.62E-05	-3.55E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80.68	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	1.01	0.97	0.97	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.48E-05	-1.74E-05	1.31E-04	-1.74E-05	1.48E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90.76	0.000	0.000	0.000	0.013	0.000	1.03	0.95	1.00	0.000	0.000	0.000	0.111	0.000	3.85E-05	9.47E-06	1.98E-04	9.47E-06	3.85E-05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
100.85	0.000	0.000	0.020	0.015	0.010	1.03	0.92	1.00	0.000	0.000	0.000	0.222	0.000	5.77E-05	6.32E-05	3.13E-04	6.32E-05	5.77E-05	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
110.93	0.000	0.000	0.030	0.018	0.015	1.01	0.85	0.95	0.000	0.000	0.091	0.333	0.083	1.06E-04	1.44E-04	4.29E-04	1.44E-04	1.06E-04	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
121.02	0.010	0.010	0.040	0.030	0.030	0.99	0.80	0.89	0.000	0.000	0.182	0.444	0.167	3.21E-04	2.80E-04	5.42E-04	2.80E-04	3.21E-04	0.02	0.03	0.05	0.03	0.02
131.10	0.013	0.015	0.055	0.050	0.070	0.94	0.73	0.81	0.100	0.200	0.273	0.556	0.250	5.20E-04	5.53E-04	6.81E-04	5.53E-04	5.20E-04	0.04	0.08	0.06	0.08	0.04
141.19	0.025	0.025	0.070	0.070	0.110	0.92	0.67	0.72	0.200	0.400	0.364	0.667	0.333	6.50E-04	8.16E-04	8.14E-04	8.16E-04	6.50E-04	0.06	0.13	0.08	0.13	0.06
151.27	0.038	0.098	0.098	0.157	0.130	0.85	0.62	0.64	0.300	0.600	0.455	0.778	0.417	8.55E-04	1.25E-03	9.96E-04	1.25E-03	8.55E-04	0.08	0.22	0.10	0.22	0.08
161.35	0.050	0.170	0.125	0.243	0.150	0.78	0.58	0.59	0.400	0.800	0.545	0.889	0.500	1.00E-03	1.87E-03	1.15E-03	1.87E-03	1.00E-03	0.10	0.34	0.12	0.34	0.10
171.44	0.070	0.265	0.153	0.345	0.170	0.69	0.54	0.55	0.500	1.000	0.636	1.000	0.583	1.10E-03	2.34E-03	1.19E-03	2.34E-03	1.10E-03	0.11	0.43	0.12	0.43	0.11
181.52	0.090	0.360	0.180	0.447	0.190	0.58	0.48	0.51	0.600		0.727		0.667	1.57E-03	3.10E-03	1.62E-03	3.10E-03	1.57E-03	0.17	0.58	0.17	0.58	0.17
191.61	0.110	0.530	0.200	0.548	0.220	0.53	0.44	0.48	0.700		0.818		0.750	1.90E-03	3.68E-03	1.87E-03	3.68E-03	1.90E-03	0.20	0.70	0.20	0.70	0.20
201.69	0.130	0.700	0.220	0.650	0.250	0.48	0.39	0.44	0.800		0.909		0.833	2.10E-03	4.01E-03	2.05E-03	4.01E-03	2.10E-03	0.23	0.76	0.22	0.76	0.23
211.78	0.180	0.870	0.268	0.888	0.313	0.43	0.35	0.42	0.900		1.000		0.917	2.46E-03	4.70E-03	2.49E-03	4.70E-03	2.46E-03	0.27	0.90	0.27	0.90	0.27
221.86	0.230	1.040	0.315	1.125	0.375	0.40	0.32	0.39	1.000				1.000	2.78E-03	1.23E-02	2.70E-03	1.23E-02	2.78E-03	0.31	2.39	0.30	2.39	0.31
231.95	0.278	1.385	0.329	1.504	0.428	0.37	0.29	0.36						3.24E-03	1.92E-02	2.99E-03	1.92E-02	3.24E-03	0.36	3.74	0.33	3.74	0.36
242.03	0.327	1.730	0.343	1.883	0.480	0.34	0.26	0.33						3.67E-03	2.23E-02	3.25E-03	2.23E-02	3.67E-03	0.41	4.36	0.36	4.36	0.41
252.12	0.540	2.173	0.450	2.525	0.543	0.31	0.24	0.30						6.30E-03	2.31E-02	3.73E-03	2.31E-02	6.30E-03	0.71	4.52	0.42	4.52	0.71
262.20	0.810	2.598	0.600	3.267	0.612	0.28	0.21	0.28						9.24E-03	2.43E-02	4.30E-03	2.43E-02	9.24E-03	1.06	4.75	0.48	4.75	1.06
272.29	1.080	3.024	0.750	4.008	0.681	0.25	0.19	0.26						1.29E-02	2.55E-02	6.54E-03	2.55E-02	1.29E-02	1.48	4.98	0.74	4.98	1.48
282.37	1.350	3.450	0.900	4.750	0.750	0.22	0.16	0.23						1.50E-02		1.57E-02	0.00E+00	1.50E-02	1.73		1.80	0.00	1.73

Tabla I.5. Ancho de Grieta, Factor de Rigidez, Relación de Momentos y deformación unitaria en fibra de tensión para viga V-5 (PPR = 0.65).

CARGA TOTAL (kN)	ANCHO DE GRIETA MEDIDO (mm)					FACTOR DE RIGIDEZ "FR"			(Ma-Mcr)/(Mn-Mcr)					$\varepsilon_{ct}$ (mm/mm)					ANCHO DE GRIETA CALCULADO (mm)				
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	1 CL1	2 CL2	3 CL3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.98	0.99	1.01	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.51E-04	-4.09E-04	-2.47E-04	-4.09E-04	-2.51E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.98	0.99	1.01	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.84E-04	-3.57E-04	-2.24E-04	-3.57E-04	-1.84E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.02	1.00	1.01	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.27E-04	-3.14E-04	-2.10E-04	-3.14E-04	-1.27E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.02	0.99	1.08	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-8.50E-05	-2.81E-04	-1.86E-04	-2.81E-04	-8.50E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.98	0.96	0.99	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-5.92E-05	-2.47E-04	-1.69E-04	-2.47E-04	-5.92E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	0.94	0.99	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.35E-05	-2.06E-04	-1.46E-04	-2.06E-04	-1.35E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03	0.95	0.97	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.56E-05	-1.78E-04	-1.27E-04	-1.78E-04	1.56E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.98	0.98	0.99	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.68E-05	-1.36E-04	-9.62E-05	-1.36E-04	6.68E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80.68	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.13E-04	-8.92E-05	-9.26E-05	-8.92E-05	1.13E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90.76	0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	1.00	0.97	1.00	0.071	0.091	0.048	0.000	0.000	2.08E-04	4.30E-05	-6.67E-05	4.30E-05	2.08E-04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
100.85	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	1.00	0.95	1.01	0.143	0.182	0.095	0.000	0.000	2.41E-04	8.89E-05	-4.43E-05	8.89E-05	2.41E-04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
110.93	0.01	0.03	0.03	0.01	0.02	0.97	0.88	0.97	0.214	0.273	0.143	0.111	0.083	3.48E-04	2.20E-04	-2.19E-05	2.20E-04	3.48E-04	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02
121.02	0.02	0.04	0.03	0.02	0.02	0.92	0.87	0.95	0.286	0.364	0.190	0.222	0.167	3.90E-04	2.95E-04	3.14E-07	2.95E-04	3.90E-04	0.03	0.03	0.00	0.03	0.03
131.10	0.03	0.04	0.04	0.02	0.03	0.87	0.86	0.93	0.357	0.455	0.238	0.333	0.250	4.67E-04	4.00E-04	2.06E-05	4.00E-04	4.67E-04	0.04	0.05	0.00	0.05	0.04
141.19	0.04	0.06	0.04	0.04	0.03	0.82	0.85	0.87	0.429	0.545	0.286	0.444	0.333	6.83E-04	5.26E-04	4.93E-05	5.26E-04	6.83E-04	0.06	0.07	0.00	0.07	0.06
151.27	0.05	0.08	0.05	0.05	0.03	0.75	0.83	0.80	0.500	0.636	0.333	0.556	0.417	1.03E-03	7.81E-04	7.29E-05	7.81E-04	1.03E-03	0.10	0.12	0.00	0.12	0.10
161.35	0.06	0.10	0.06	0.07	0.05	0.69	0.79	0.74	0.571	0.727	0.381	0.667	0.500	1.18E-03	1.13E-03	1.16E-04	1.13E-03	1.18E-03	0.11	0.18	0.00	0.18	0.11
171.44	0.07	0.18	0.07	0.11	0.05	0.62	0.76	0.69	0.643	0.818	0.429	0.778	0.583	1.38E-03	1.60E-03	1.41E-04	1.60E-03	1.38E-03	0.14	0.27	0.00	0.27	0.14
181.52	0.09	0.25	0.09	0.15	0.06	0.59	0.73	0.65	0.714	0.909	0.476	0.889	0.667	1.58E-03	1.86E-03	1.93E-04	1.86E-03	1.58E-03	0.16	0.32	0.01	0.32	0.16
191.61	0.10	0.33	0.13	0.16	0.08	0.54	0.67	0.61	0.786	1.000	0.524	1.000	0.750	1.84E-03	2.28E-03	2.25E-04	2.28E-03	1.84E-03	0.19	0.39	0.01	0.39	0.19
201.69	0.11	0.41	0.17	0.17	0.09	0.51	0.61	0.59	0.857		0.571		0.833	2.06E-03	2.52E-03	3.63E-04	2.52E-03	2.06E-03	0.21	0.44	0.03	0.44	0.21
211.78	0.12	0.49	0.20	0.22	0.11	0.48	0.56	0.56	0.929		0.619		0.917	2.28E-03	2.77E-03	4.77E-04	2.77E-03	2.28E-03	0.23	0.49	0.04	0.49	0.23
221.86	0.13	0.55	0.23	0.27	0.12	0.45	0.51	0.54	1.000		0.667		1.000	2.50E-03	3.08E-03	5.74E-04	3.08E-03	2.50E-03	0.26	0.54	0.05	0.54	0.26
231.95	0.14	0.60	0.24	0.31	0.13	0.43	0.47	0.51			0.714			2.78E-03	3.45E-03	8.67E-04	3.45E-03	2.78E-03	0.29	0.61	0.08	0.61	0.29
242.03	0.15	0.65	0.25	0.36	0.14	0.42	0.43	0.50			0.762			2.93E-03	3.69E-03	9.99E-04	3.69E-03	2.93E-03	0.30	0.65	0.09	0.65	0.30
252.12	0.16	0.70	0.26	0.40	0.15	0.40	0.40	0.48			0.810			3.16E-03	3.99E-03	1.27E-03	3.99E-03	3.16E-03	0.33	0.71	0.12	0.71	0.33
262.20	0.17	0.75	0.27	0.44	0.16	0.38	0.37	0.46			0.857			3.39E-03	4.33E-03	1.55E-03	4.33E-03	3.39E-03	0.35	0.77	0.15	0.77	0.35
272.29	0.24	0.91	0.31	0.55	0.19	0.37	0.35	0.45			0.905			3.64E-03	4.79E-03	1.88E-03	4.79E-03	3.64E-03	0.38	0.86	0.19	0.86	0.38
282.37	0.31	1.08	0.35	0.65	0.22	0.34	0.32	0.43			0.952			3.99E-03	7.52E-03	2.27E-03	7.52E-03	3.99E-03	0.42	1.36	0.23	1.36	0.42
292.46	0.38	1.22	0.38	0.79	0.25	0.33	0.29	0.42			1.000			4.26E-03	1.04E-02	2.62E-03	1.04E-02	4.26E-03	0.45	1.88	0.27	1.88	0.45
302.54	0.46	1.37	0.42	0.93	0.28	0.31	0.27	0.40						4.64E-03	1.17E-02	2.97E-03	1.17E-02	4.64E-03	0.49	2.14	0.31	2.14	0.49
312.63	0.60	1.88	0.44	1.20	0.35	0.28	0.23	0.38						5.39E-03	1.38E-02	3.40E-03	1.38E-02	5.39E-03	0.57	2.52	0.35	2.52	0.57

Tabla I.6. Ancho de Grieta, Factor de Rigidez, Relación de Momentos y deformación unitaria en fibra de tensión para viga V-6 (PPR = 0.55).

CARGA TOTAL (kN)	ANCHO DE GRIETA MEDIDO (mm)					FACTOR DE RIGIDEZ "FR"			(Ma-Mcr)/(Mn-Mcr)					$\varepsilon_{ct}$ (mm/mm)					ANCHO DE GRIETA CALCULADO (mm)				
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	1 CL1	2 CL2	3 CL3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.98	0.87	1.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.53E-04	-4.10E-04	-2.48E-04	-4.10E-04	-2.53E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10.08	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.98	0.87	1.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.89E-04	-3.20E-04	-1.79E-04	-3.20E-04	-1.89E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20.17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.00	0.95	0.99	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.50E-04	-3.45E-04	-2.03E-04	-3.45E-04	-1.50E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30.25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.02	1.00	0.97	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.24E-04	-2.18E-04	-1.20E-04	-2.18E-04	-1.24E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40.34	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.96	0.96	0.95	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.15E-04	-1.92E-04	-9.42E-05	-1.92E-04	-1.15E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50.42	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.96	0.95	0.97	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-6.34E-05	-1.62E-04	-5.98E-05	-1.62E-04	-6.34E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60.51	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.97	0.96	0.98	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-4.35E-05	-1.32E-04	-3.30E-05	-1.32E-04	-4.35E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70.59	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.97	0.97	0.98	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-5.29E-05	-1.03E-04	8.92E-06	-1.03E-04	-5.29E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80.68	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.01	1.00	1.01	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.98E-05	-7.65E-05	4.64E-05	-7.65E-05	-2.98E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90.76	0.000	0.000	0.005	0.000	0.005	0.93	1.01	0.99	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.16E-07	-2.52E-06	1.26E-04	-2.52E-06	2.16E-07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100.85	0.000	0.000	0.010	0.000	0.010	0.95	0.99	1.00	0.000	0.000	0.056	0.000	0.045	3.55E-05	3.69E-05	1.78E-04	3.69E-05	3.55E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110.93	0.000	0.000	0.013	0.000	0.015	1.00	1.00	1.00	0.000	0.000	0.111	0.000	0.091	8.42E-05	7.41E-05	2.07E-04	7.41E-05	8.42E-05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
121.02	0.010	0.000	0.025	0.000	0.030	0.98	0.94	0.92	0.000	0.000	0.167	0.000	0.136	1.35E-04	1.41E-04	2.69E-04	1.41E-04	1.35E-04	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
131.10	0.011	0.005	0.038	0.000	0.038	0.99	0.88	0.87	0.053	0.000	0.222	0.000	0.182	1.50E-04	2.12E-04	2.02E-04	2.12E-04	1.50E-04	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00
141.19	0.013	0.010	0.050	0.020	0.045	0.99	0.83	0.83	0.105	0.083	0.278	0.000	0.227	2.19E-04	2.92E-04	2.70E-04	2.92E-04	2.19E-04	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01
151.27	0.014	0.020	0.063	0.025	0.053	0.97	0.77	0.79	0.158	0.167	0.333	0.091	0.273	2.75E-04	5.50E-04	3.15E-04	5.50E-04	2.75E-04	0.01	0.07	0.02	0.07	0.01
161.35	0.015	0.040	0.075	0.030	0.060	0.94	0.71	0.75	0.211	0.250	0.389	0.182	0.318	3.00E-04	7.37E-04	4.45E-04	7.37E-04	3.00E-04	0.02	0.11	0.03	0.11	0.02
171.44	0.016	0.050	0.098	0.044	0.068	0.89	0.65	0.71	0.263	0.333	0.444	0.273	0.364	3.56E-04	9.75E-04	6.50E-04	9.75E-04	3.56E-04	0.02	0.15	0.05	0.15	0.02
181.52	0.018	0.060	0.120	0.058	0.075	0.85	0.61	0.68	0.316	0.417	0.500	0.364	0.409	3.87E-04	1.18E-03	8.20E-04	1.18E-03	3.87E-04	0.03	0.18	0.07	0.18	0.03
191.61	0.019	0.073	0.143	0.076	0.080	0.79	0.56	0.65	0.368	0.500	0.556	0.455	0.455	5.10E-04	1.37E-03	1.03E-03	1.37E-03	5.10E-04	0.04	0.21	0.09	0.21	0.04
201.69	0.020	0.085	0.165	0.095	0.085	0.73	0.53	0.62	0.421	0.583	0.611	0.545	0.500	6.39E-04	1.62E-03	1.25E-03	1.62E-03	6.39E-04	0.05	0.26	0.11	0.26	0.05
211.78	0.030	0.100	0.180	0.108	0.090	0.67	0.48	0.60	0.474	0.667	0.667	0.636	0.545	9.84E-04	1.96E-03	1.34E-03	1.96E-03	9.84E-04	0.09	0.32	0.12	0.32	0.09
221.86	0.040	0.115	0.195	0.120	0.095	0.64	0.45	0.58	0.526	0.750	0.722	0.727	0.591	1.23E-03	2.19E-03	1.52E-03	2.19E-03	1.23E-03	0.11	0.36	0.14	0.36	0.11
231.95	0.048	0.140	0.208	0.138	0.105	0.60	0.43	0.56	0.579	0.833	0.778	0.818	0.636	1.44E-03	2.38E-03	1.75E-03	2.38E-03	1.44E-03	0.13	0.39	0.17	0.39	0.13
242.03	0.055	0.165	0.220	0.155	0.115	0.58	0.40	0.55	0.632	0.917	0.833	0.909	0.682	1.49E-03	2.61E-03	1.89E-03	2.61E-03	1.49E-03	0.14	0.43	0.18	0.43	0.14
252.12	0.063	0.198	0.238	0.193	0.128	0.55	0.38	0.53	0.684	1.000	0.889	1.000	0.727	1.69E-03	2.86E-03	2.11E-03	2.86E-03	1.69E-03	0.16	0.47	0.20	0.47	0.16
262.20	0.070	0.230	0.255	0.230	0.140	0.53	0.37	0.52	0.737		0.944		0.773	1.89E-03	3.05E-03	2.24E-03	3.05E-03	1.89E-03	0.18	0.51	0.22	0.51	0.18
272.29	0.079	0.275	0.273	0.300	0.153	0.52	0.34	0.50	0.789		1.000		0.818	1.98E-03	3.31E-03	2.39E-03	3.31E-03	1.98E-03	0.19	0.55	0.23	0.55	0.19
282.37	0.088	0.320	0.290	0.370	0.165	0.50	0.32	0.49	0.842				0.864	2.06E-03	3.58E-03	2.61E-03	3.58E-03	2.06E-03	0.20	0.60	0.25	0.60	0.20
292.46	0.098	0.395	0.310	0.433	0.180	0.48	0.31	0.48	0.895				0.909	2.16E-03	3.85E-03	2.74E-03	3.85E-03	2.16E-03	0.21	0.65	0.27	0.65	0.21
302.54	0.107	0.470	0.330	0.495	0.195	0.47	0.29	0.47	0.947				0.955	2.31E-03	4.11E-03	2.89E-03	4.11E-03	2.31E-03	0.22	0.69	0.28	0.69	0.22
312.63	0.113	0.563	0.365	0.530	0.210	0.45	0.28	0.45	1.000				1.000	2.48E-03	4.89E-03	3.07E-03	4.89E-03	2.48E-03	0.24	0.83	0.30	0.83	0.24
322.71	0.120	0.655	0.400	0.565	0.225	0.43	0.26	0.44						2.66E-03	8.76E-03	3.53E-03	8.76E-03	2.66E-03	0.26	1.50	0.35	1.50	0.26
332.79	0.143	0.853	0.488	0.720	0.255	0.41	0.24	0.43						2.83E-03	1.10E-02	5.89E-03	1.10E-02	2.83E-03	0.28	1.90	0.59	1.90	0.28
342.88	0.165	1.050	0.575	0.875	0.285	0.40	0.22	0.41						3.00E-03	1.14E-02	9.43E-03	1.14E-02	3.00E-03	0.30	1.95	0.96	1.95	0.30
352.96	0.185	1.213	0.738	1.113	0.358	0.37	0.19	0.39						3.39E-03	9.67E-03	1.05E-02	9.67E-03	3.39E-03	0.33		1.07	0.00	0.33

Tabla I.7. Ancho de Grieta, Factor de Rigidez, Relación de Momentos y deformación unitaria en fibra de tensión para viga V-7 (PPR = 0.79).

CARGA TOTAL (kN)	ANCHO DE GRIETA MEDIDO (mm)					FACTOR DE RIGIDEZ "FR"			(Ma-Mcr)/(Mn-Mcr)					$\epsilon_{ct}$ (mm/mm)					ANCHO DE GRIETA CALCULADO (mm)				
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	1 CL1	2 CL2	3 CL3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.04	1.03	1.06	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.27E-04	-4.96E-04	-2.36E-04	-4.96E-04	-3.27E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10.08	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.04	1.03	1.06	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.77E-04	-4.65E-04	-2.34E-04	-4.65E-04	-2.77E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20.17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.02	1.02	1.05	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.28E-04	-4.48E-04	-2.31E-04	-4.48E-04	-2.28E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30.25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.02	0.97	0.95	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.81E-04	-4.22E-04	-2.28E-04	-4.22E-04	-1.81E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40.34	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.02	0.96	0.93	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.33E-04	-3.98E-04	-2.25E-04	-3.98E-04	-1.33E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50.42	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.96	0.94	0.96	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-8.94E-05	-3.61E-04	-2.22E-04	-3.61E-04	-8.94E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60.51	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.96	0.97	0.97	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-4.62E-05	-3.31E-04	-2.19E-04	-3.31E-04	-4.62E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70.59	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.98	0.98	0.98	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.47E-05	-2.68E-04	-2.18E-04	-2.68E-04	1.47E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80.68	0.000	0.020	0.000	0.020	0.000	1.00	1.00	1.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.57E-05	-2.20E-04	-2.14E-04	-2.20E-04	5.57E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90.76	0.000	0.030	0.000	0.040	0.000	0.94	0.96	0.95	0.111	0.100	0.067	0.100	0.111	1.07E-04	-1.60E-04	-2.11E-04	-1.60E-04	1.07E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100.85	0.000	0.040	0.000	0.060	0.000	0.88	0.92	0.92	0.222	0.200	0.133	0.200	0.222	1.60E-04	-7.21E-05	-2.04E-04	-7.21E-05	1.60E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110.93	0.000	0.055	0.000	0.085	0.000	0.82	0.87	0.88	0.333	0.300	0.200	0.300	0.333	2.62E-04	2.35E-05	-2.01E-04	2.35E-05	2.62E-04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
121.02	0.000	0.070	0.000	0.110	0.000	0.72	0.83	0.85	0.444	0.400	0.267	0.400	0.444	5.82E-04	2.90E-04	-1.97E-04	2.90E-04	5.82E-04	0.04	0.03	0.00	0.03	0.04
131.10	0.000	0.115	0.000	0.205	0.000	0.63	0.80	0.81	0.556	0.500	0.333	0.500	0.556	8.27E-04	6.92E-04	-1.93E-04	6.92E-04	8.27E-04	0.07	0.09	0.00	0.09	0.07
141.19	0.020	0.160	0.020	0.300	0.020	0.56	0.78	0.76	0.667	0.600	0.400	0.600	0.667	1.06E-03	1.11E-03	-1.90E-04	1.11E-03	1.06E-03	0.09	0.16	0.00	0.16	0.09
151.27	0.055	0.297	0.070	0.425	0.040	0.51	0.72	0.69	0.778	0.700	0.467	0.700	0.778	1.60E-03	1.61E-03	-1.78E-04	1.61E-03	1.60E-03	0.14	0.24	0.00	0.24	0.14
161.35	0.090	0.433	0.120	0.550	0.060	0.46	0.66	0.63	0.889	0.800	0.533	0.800	0.889	2.13E-03	2.21E-03	-1.73E-04	2.21E-03	2.13E-03	0.20	0.34	0.00	0.34	0.20
171.44	0.110	0.535	0.168	0.630	0.090	0.41	0.59	0.55	1.000	0.900	0.600	0.900	1.000	2.67E-03	2.53E-03	-1.67E-04	2.53E-03	2.67E-03	0.25	0.40	0.00	0.40	0.25
181.52	0.130	0.637	0.215	0.710	0.120	0.38	0.54	0.49		1.000	0.667	1.000		3.09E-03	2.88E-03	-1.61E-04	2.88E-03	3.09E-03	0.29	0.45	0.00	0.45	0.29
191.61	0.155	0.708	0.228	0.800	0.155	0.34	0.45	0.41			0.733			3.58E-03	5.63E-03	-1.51E-04	5.63E-03	3.58E-03	0.34	0.91	0.00	0.91	0.34
201.69	0.180	0.780	0.240	0.890	0.190	0.31	0.39	0.35			0.800			4.07E-03	7.79E-03	-1.37E-04	7.79E-03	4.07E-03	0.39	1.27	0.00	1.27	0.39
211.78	0.398	1.048	0.275	1.687	0.218	0.28	0.34	0.31			0.867			5.94E-03	1.21E-02	-1.11E-04	1.21E-02	5.94E-03	0.57	1.98	0.00	1.98	0.57
221.86	0.617	1.317	0.310	2.483	0.247	0.26	0.30	0.27			0.933			7.87E-03	1.61E-02	-8.49E-05	1.61E-02	7.87E-03	0.76	2.64	0.00	2.64	0.76
231.95	0.805	2.500	0.350	3.700	0.500	0.22	0.26	0.24			1.000			1.47E-02	1.83E-02	-6.25E-05	1.83E-02	1.47E-02	1.42	3.01	0.00	3.01	1.42

Tabla I.8. Ancho de Grieta, Factor de Rigidez, Relación de Momentos y deformación unitaria en fibra de tensión para viga V-8 (PPR = 0.65).

CARGA TOTAL (kN)	ANCHO DE GRIETA MEDIDO (mm)					FACTOR DE RIGIDEZ "FR"			(Ma-Mcr)/(Mn-Mcr)					$\varepsilon_{ct}$ (mm/mm)					ANCHO DE GRIETA CALCULADO (mm)				
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	1 CL1	2 CL2	3 CL3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.39	1.23	1.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.45E-04	-5.24E-04	-2.49E-04	-5.24E-04	-3.45E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.39	1.23	1.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.42E-04	-4.84E-04	-2.42E-04	-4.84E-04	-3.42E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	1.22	1.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.35E-04	-4.75E-04	-2.38E-04	-4.75E-04	-3.35E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.23	1.14	1.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.32E-04	-4.40E-04	-2.32E-04	-4.40E-04	-3.32E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.24	1.16	1.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.26E-04	-4.26E-04	-2.26E-04	-4.26E-04	-3.26E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.12	0.96	1.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.23E-04	-3.95E-04	-2.84E-04	-3.95E-04	-3.23E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60.51	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	1.04	1.00	1.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.26E-04	-3.40E-04	-3.39E-04	-3.40E-04	-3.26E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70.59	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	0.96	0.99	0.87	0.000	0.000	0.000	0.067	0.062	-3.22E-04	-3.08E-04	-2.82E-04	-3.08E-04	-3.22E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80.68	0.00	0.00	0.03	0.04	0.00	0.99	1.01	0.78	0.000	0.000	0.067	0.133	0.125	-3.17E-04	-2.95E-04	-2.57E-04	-2.95E-04	-3.17E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90.76	0.00	0.00	0.04	0.05	0.00	1.01	1.03	0.72	0.000	0.000	0.133	0.200	0.187	-3.14E-04	-2.49E-04	-2.98E-04	-2.49E-04	-3.14E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100.85	0.02	0.00	0.04	0.06	0.00	1.00	1.02	0.68	0.000	0.000	0.200	0.267	0.250	-3.08E-04	-2.16E-04	-2.85E-04	-2.16E-04	-3.08E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110.93	0.03	0.00	0.05	0.08	0.00	0.93	1.01	0.65	0.083	0.000	0.267	0.333	0.312	-3.06E-04	-1.63E-04	-2.27E-04	-1.63E-04	-3.06E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
121.02	0.03	0.02	0.05	0.09	0.02	0.87	1.00	0.61	0.167	0.000	0.333	0.400	0.375	-2.99E-04	-9.76E-05	-2.15E-04	-9.76E-05	-2.99E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
131.10	0.04	0.03	0.07	0.11	0.03	0.81	0.83	0.57	0.250	0.111	0.400	0.467	0.438	-2.95E-04	2.87E-05	-2.13E-04	2.87E-05	-2.95E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
141.19	0.04	0.04	0.08	0.12	0.03	0.72	0.78	0.54	0.333	0.222	0.467	0.533	0.500	-2.66E-04	2.57E-04	-1.93E-04	2.57E-04	-2.66E-04	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00
151.27	0.05	0.11	0.10	0.15	0.05	0.65	0.73	0.50	0.417	0.333	0.533	0.600	0.563	-2.57E-04	5.27E-04	-9.61E-04	5.27E-04	-2.57E-04	0.00	0.06	0.00	0.06	0.00
161.35	0.06	0.18	0.12	0.18	0.06	0.60	0.67	0.46	0.500	0.444	0.600	0.667	0.625	-2.45E-04	7.86E-04	-9.41E-04	7.86E-04	-2.45E-04	0.00	0.10	0.00	0.10	0.00
171.44	0.07	0.23	0.15	0.24	0.07	0.55	0.62	0.43	0.583	0.556	0.667	0.733	0.688	-2.34E-04	9.99E-04	-4.89E-04	9.99E-04	-2.34E-04	0.00	0.13	0.00	0.13	0.00
181.52	0.08	0.28	0.18	0.30	0.08	0.51	0.59	0.41	0.667	0.667	0.733	0.800	0.750	-2.24E-04	1.29E-03	-4.78E-04	1.29E-03	-2.24E-04	0.00	0.18	0.00	0.18	0.00
191.61	0.09	0.41	0.19	0.31	0.09	0.48	0.55	0.38	0.750	0.778	0.800	0.867	0.813	-2.12E-04	1.57E-03	-2.79E-04	1.57E-03	-2.12E-04	0.00	0.22	0.00	0.22	0.00
201.69	0.10	0.54	0.20	0.32	0.10	0.45	0.52	0.37	0.833	0.889	0.867	0.933	0.875	-1.99E-04	1.84E-03	-2.69E-04	1.84E-03	-1.99E-04	0.00	0.26	0.00	0.26	0.00
211.78	0.11	0.56	0.25	0.46	0.11	0.42	0.49	0.35	0.917	1.000	0.933	1.000	0.938	-1.86E-04	2.10E-03	-3.47E-04	2.10E-03	-1.86E-04	0.00	0.30	0.00	0.30	0.00
221.86	0.12	0.58	0.30	0.60	0.12	0.40	0.47	0.33	1.000		1.000		1.000	-1.73E-04	2.32E-03	-3.43E-04	2.32E-03	-1.73E-04	0.00	0.34	0.00	0.34	0.00



Tabla I.9. Ancho de Grieta, Factor de Rigidez, Relación de Momentos y deformación unitaria en fibra de tensión para viga V-9 (PPR = 0.55).

CARGA TOTAL (kN)	ANCHO DE GRIETA MEDIDO (mm)					FACTOR DE RIGIDEZ "FR"			(Ma-Mcr)/(Mn-Mcr)					$\varepsilon_{ct}$ (mm/mm)					ANCHO DE GRIETA CALCULADO (mm)				
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	1 CL1	2 CL2	3 CL3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.97	1.01	1.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.34E-04	-5.07E-04	-2.41E-04	-5.07E-04	-3.34E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10.08	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.97	1.01	1.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.83E-04	-4.86E-04	-2.34E-04	-4.86E-04	-2.83E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20.17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.97	1.02	1.01	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.42E-04	-4.59E-04	-2.36E-04	-4.59E-04	-2.42E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30.25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.01	0.94	0.98	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.03E-04	-4.74E-04	-2.24E-04	-4.74E-04	-2.03E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40.34	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.99	0.94	0.98	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.50E-04	-4.69E-04	-2.20E-04	-4.69E-04	-1.50E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50.42	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.00	0.94	0.98	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-9.78E-05	-4.33E-04	-2.14E-04	-4.33E-04	-9.78E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60.51	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	1.01	0.97	1.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.65E-05	-4.11E-04	-2.09E-04	-4.11E-04	-3.65E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70.59	0.000	0.000	0.014	0.000	0.000	1.03		1.02	0.000	0.000	0.040	0.000	0.000	-1.53E-06	-3.94E-04	-2.09E-04	-3.94E-04	-1.53E-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80.68	0.000	0.010	0.018	0.000	0.000	0.98		1.02	0.000	0.000	0.080	0.000	0.000	3.71E-05	-3.72E-04	-2.04E-04	-3.72E-04	3.71E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90.76	0.000	0.013	0.019	0.000	0.000	1.00	0.94	1.02	0.000	0.077	0.120	0.000	0.000	9.42E-05	-3.26E-04	-1.99E-04	-3.26E-04	9.42E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100.85	0.010	0.025	0.030	0.000	0.000	1.00	0.91	1.03	0.000	0.154	0.160	0.000	0.000	1.27E-04	-3.03E-04	-1.94E-04	-3.03E-04	1.27E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110.93	0.013	0.029	0.044	0.000	0.000	0.97	0.87	1.02	0.059	0.231	0.200	0.000	0.000	2.01E-04	-2.49E-04	-1.84E-04	-2.49E-04	2.01E-04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
121.02	0.015	0.033	0.058	0.020	0.010	0.92	0.82	1.00	0.118	0.308	0.240	0.000	0.000	2.48E-04	-1.96E-04	-1.76E-04	-1.96E-04	2.48E-04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
131.10	0.018	0.039	0.064	0.035	0.015	0.89	0.77	0.93	0.176	0.385	0.280	0.111	0.067	3.15E-04	-9.75E-05	-1.70E-04	-9.75E-05	3.15E-04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02
141.19	0.020	0.045	0.070	0.050	0.030	0.84	0.73	0.86	0.235	0.462	0.320	0.222	0.133	3.84E-04	-2.44E-05	-1.61E-04	-2.44E-05	3.84E-04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02
151.27	0.023	0.068	0.085	0.070	0.038	0.79	0.70	0.80	0.294	0.538	0.360	0.333	0.200	4.90E-04	8.31E-05	-1.54E-04	8.31E-05	4.90E-04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03
161.35	0.035	0.090	0.100	0.090	0.045	0.74	0.67	0.74	0.353	0.615	0.400	0.444	0.267	5.99E-04	1.66E-04	-1.44E-04	1.66E-04	5.99E-04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04
171.44	0.043	0.125	0.125	0.105	0.053	0.68	0.64	0.69	0.412	0.692	0.440	0.556	0.333	7.12E-04	2.58E-04	-1.38E-04	2.58E-04	7.12E-04	0.05	0.02	0.00	0.02	0.05
181.52	0.050	0.160	0.150	0.120	0.060	0.64	0.59	0.65	0.471	0.769	0.480	0.667	0.400	8.86E-04	3.90E-04	-1.31E-04	3.90E-04	8.86E-04	0.07	0.04	0.00	0.04	0.07
191.61	0.053	0.215	0.165	0.143	0.066	0.59	0.56	0.61	0.529	0.846	0.520	0.778	0.467	1.08E-03	5.59E-04	-1.19E-04	5.59E-04	1.08E-03	0.08	0.06	0.00	0.06	0.08
201.69	0.055	0.270	0.180	0.165	0.073	0.56	0.54	0.58	0.588	0.923	0.560	0.889	0.533	1.23E-03	6.84E-04	-1.14E-04	6.84E-04	1.23E-03	0.10	0.08	0.00	0.08	0.10
211.78	0.058	0.290	0.215	0.198	0.089	0.52	0.52	0.56	0.647	1.000	0.600	1.000	0.600	1.40E-03	8.06E-04	-1.08E-04	8.06E-04	1.40E-03	0.11	0.10	0.00	0.10	0.11
221.86	0.060	0.310	0.250	0.230	0.105	0.50	0.50	0.53	0.706		0.640		0.667	1.55E-03	8.99E-04	-1.00E-04	8.99E-04	1.55E-03	0.12	0.11	0.00	0.11	0.12
231.95	0.063	0.345	0.260	0.293	0.111	0.47	0.48	0.51	0.765		0.680		0.733	1.73E-03	1.02E-03	-9.82E-05	1.02E-03	1.73E-03	0.14	0.13	0.00	0.13	0.14
242.03	0.065	0.380	0.270	0.355	0.118	0.45	0.46	0.49	0.824		0.720		0.800	1.89E-03	1.12E-03	-9.01E-05	1.12E-03	1.89E-03	0.15	0.15	0.00	0.15	0.15
252.12	0.068	0.415	0.280	0.438	0.124	0.44	0.44	0.47	0.882		0.760		0.867	2.06E-03	1.24E-03	-7.68E-05	1.24E-03	2.06E-03	0.17	0.16	0.00	0.16	0.17
262.20	0.070	0.450	0.290	0.520	0.130	0.42	0.42	0.45	0.941		0.800		0.933	2.26E-03	1.37E-03	-6.85E-05	1.37E-03	2.26E-03	0.18	0.18	0.00	0.18	0.18
272.29	0.075	0.523	0.311	0.671	0.175	0.41	0.41	0.43	1.000		0.840		1.000	2.43E-03	1.49E-03	-5.72E-05	1.49E-03	2.43E-03	0.20	0.20	0.00	0.20	0.20
282.37	0.081	0.597	0.332	0.822	0.220	0.39	0.39	0.41			0.880			2.61E-03	1.66E-03	-4.45E-05	1.66E-03	2.61E-03	0.22	0.22	0.00	0.22	0.22
292.46	0.086	0.660	0.353	0.973	0.265	0.38	0.36	0.39			0.920			2.85E-03	1.80E-03	-2.78E-05	1.80E-03	2.85E-03	0.24	0.24	0.00	0.24	0.24
302.54	0.093	0.870	0.365	1.050	0.295	0.37	0.34	0.36			0.960			3.10E-03	2.09E-03	-8.59E-06	2.09E-03	3.10E-03	0.26	0.29	0.00	0.29	0.26
312.63	0.100	1.100	0.380	1.250	0.450	0.34	0.31	0.33			1.000			3.40E-03	6.37E-03	9.91E-06	6.37E-03	3.40E-03	0.28	0.92	0.00	0.92	0.28

Tabla I.10. Ancho de Grieta, Factor de Rigidez, Relación de Momentos y deformación unitaria en fibra de tensión para viga V-10 (PPR = 0.79).

CARGA TOTAL (kN)	ANCHO DE GRIETA MEDIDO (mm)					FACTOR DE RIGIDEZ "FR"			(Ma-Mcr)/(Mn-Mcr)					$\varepsilon_{ct}$ (mm/mm)					ANCHO DE GRIETA CALCULADO (mm)				
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	1 CL1	2 CL2	3 CL3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.86	0.86	0.88	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.28E-04	-4.90E-04	-3.17E-04	-4.90E-04	-3.28E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10.08	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.86	0.86	0.88	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.30E-04	-4.85E-04	-3.13E-04	-4.85E-04	-2.30E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20.17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.91	0.89	0.93	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.38E-04	-4.80E-04	-3.09E-04	-4.80E-04	-1.38E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30.25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.89	0.90	0.87	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.13E-05	-4.73E-04	-3.03E-04	-4.73E-04	-1.13E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40.34	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.96	0.92	0.91	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.97E-05	-4.66E-04	-2.98E-04	-4.66E-04	7.97E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50.42	0.000	0.020	0.000	0.000	0.000	0.96	0.94	0.93	0.000	0.056	0.000	0.000	0.000	2.01E-04	-4.61E-04	-2.94E-04	-4.61E-04	2.01E-04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
60.51	0.000	0.030	0.000	0.000	0.000	0.99	0.96	0.94	0.000	0.111	0.000	0.000	0.000	3.55E-04	-4.53E-04	-2.92E-04	-4.53E-04	3.55E-04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03
70.59	0.000	0.050	0.000	0.000	0.000	1.00	0.97	0.96	0.000	0.167	0.000	0.000	0.000	5.48E-04	-4.45E-04	-2.86E-04	-4.45E-04	5.48E-04	0.05	0.00	0.00	0.00	0.05
80.68	0.010	0.070	0.010	0.000	0.000	0.99	0.98	0.97	0.000	0.222	0.000	0.000	0.000	7.87E-04	-4.40E-04	-2.82E-04	-4.40E-04	7.87E-04	0.08	0.00	0.00	0.00	0.08
90.76	0.015	0.115	0.020	0.000	0.000	0.97	0.94	0.99	0.333	0.278	0.071	0.000	0.000	1.03E-03	-4.33E-04	-2.75E-04	-4.33E-04	1.03E-03	0.10	0.00	0.00	0.00	0.10
100.85	0.020	0.170	0.030	0.020	0.010	0.99	0.92	1.00	0.667	0.333	0.143	0.000	0.000	1.33E-03	-4.24E-04	-2.70E-04	-4.24E-04	1.33E-03	0.14	0.00	0.00	0.00	0.14
110.93	0.040	0.230	0.035	0.030	0.025	0.96	0.86	0.93	1.000	0.389	0.214	0.083	1.000	1.62E-03	-4.10E-04	-2.64E-04	-4.10E-04	1.62E-03	0.17	0.00	0.00	0.00	0.17
121.02	0.060	0.290	0.040	0.040	0.040	0.90	0.77	0.86		0.444	0.286	0.167		2.66E-03	-3.81E-04	-2.59E-04	-3.81E-04	2.66E-03	0.29	0.00	0.00	0.00	0.29
131.10	0.090	0.395	0.065	0.125	0.055	0.86	0.71	0.79		0.500	0.357	0.250		3.09E-03	-3.62E-04	-2.48E-04	-3.62E-04	3.09E-03	0.34	0.00	0.00	0.00	0.34
141.19	0.130	0.500	0.090	0.210	0.080	0.76	0.66	0.72		0.556	0.429	0.333		3.65E-03	-3.40E-04	-2.43E-04	-3.40E-04	3.65E-03	0.41	0.00	0.00	0.00	0.41
151.27	0.155	0.615	0.105	0.340	0.100	0.67	0.62	0.66		0.611	0.500	0.417		4.09E-03	-3.18E-04	-2.33E-04	-3.18E-04	4.09E-03	0.46	0.00	0.00	0.00	0.46
161.35	0.180	0.730	0.120	0.470	0.120	0.61	0.59	0.62		0.667	0.571	0.500		4.55E-03	-3.00E-04	-2.26E-04	-3.00E-04	4.55E-03	0.51	0.00	0.00	0.00	0.51
171.44	0.265	0.940	0.130	0.585	0.135	0.55	0.54	0.57		0.722	0.643	0.583		5.44E-03	-2.67E-04	-2.19E-04	-2.67E-04	5.44E-03	0.62	0.00	0.00	0.00	0.62
181.52	0.350	1.150	0.140	0.700	0.150	0.45	0.49	0.51		0.778	0.714	0.667		5.92E-03	-2.36E-04	-2.08E-04	-2.36E-04	5.92E-03	0.67	0.00	0.00	0.00	0.67
191.61	0.380	1.875	0.190	0.855	0.225	0.41	0.44	0.46		0.833	0.786	0.750		7.44E-03	-2.10E-04	-2.66E-04	-2.10E-04	7.44E-03	0.85	0.00	0.00	0.00	0.85
201.69	0.410	2.600	0.240	1.010	0.300	0.34	0.40	0.42		0.889	0.857	0.833		1.45E-02	-1.79E-04	-2.47E-04	-1.79E-04	1.45E-02	1.67	0.00	0.00	0.00	1.67
211.78	0.655	3.800	0.270	1.480	0.450	0.30	0.36	0.38		0.944	0.929	0.917		2.33E-02	-1.49E-04	-2.17E-04	-1.49E-04	2.33E-02	2.69	0.00	0.00	0.00	2.69
221.86	0.900	5.000	0.300	1.950	0.600	0.28	0.33	0.36		1.000	1.000	1.000		1.95E-02	-1.22E-04	-2.02E-04	-1.22E-04	1.95E-02					

Tabla I.11. Ancho de Grieta, Factor de Rigidez, Relación de Momentos y deformación unitaria en fibra de tensión para viga V-11 (PPR = 0.65).

CARGA TOTAL (kN)	ANCHO DE GRIETA MEDIDO (mm)					FACTOR DE RIGIDEZ "FR"			(Ma-Mcr)/(Mn-Mcr)					$\varepsilon_{ct}$ (mm/mm)					ANCHO DE GRIETA CALCULADO (mm)				
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	1 CL1	2 CL2	3 CL3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.92	0.97	0.97	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.26E-04	-4.86E-04	-3.15E-04	-4.86E-04	-3.26E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.92	0.97	0.97	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.60E-04	-4.09E-04	-3.09E-04	-4.09E-04	-2.60E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03	1.02	0.99	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.41E-04	-3.87E-04	-3.07E-04	-3.87E-04	-2.41E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.07	1.06	1.11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.04E-04	-3.64E-04	-3.03E-04	-3.64E-04	-2.04E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03	0.99	1.02	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.74E-04	-3.31E-04	-3.00E-04	-3.31E-04	-1.74E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.01	1.00	1.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.50E-04	-2.93E-04	-2.96E-04	-2.93E-04	-1.50E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.03	1.01	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.05E-04	-2.53E-04	-2.92E-04	-2.53E-04	-1.05E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.98	1.05	1.02	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-4.77E-05	-1.94E-04	-2.89E-04	-1.94E-04	-4.77E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80.68	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	1.00	1.05	1.01	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-9.12E-06	-1.34E-04	-2.83E-04	-1.34E-04	-9.12E-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90.76	0.00	0.02	0.00	0.02	0.01	0.98	1.00	0.97	0.000	0.091	0.000	0.091	0.000	4.34E-05	-4.99E-05	-2.83E-04	-4.99E-05	4.34E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100.85	0.00	0.03	0.01	0.02	0.01	1.00	0.95	0.93	0.000	0.182	0.000	0.182	0.077	1.82E-04	8.57E-05	-2.82E-04	8.57E-05	1.82E-04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
110.93	0.00	0.04	0.02	0.03	0.02	1.01	0.89	0.90	0.000	0.273	0.062	0.273	0.154	2.59E-04	2.04E-04	-2.75E-04	2.04E-04	2.59E-04	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
121.02	0.02	0.06	0.02	0.05	0.02	0.92	0.84	0.86	0.000	0.364	0.125	0.364	0.231	3.63E-04	3.52E-04	-2.70E-04	3.52E-04	3.63E-04	0.02	0.04	0.00	0.04	0.02
131.10	0.05	0.07	0.03	0.09	0.02	0.85	0.77	0.84	0.100	0.455	0.188	0.455	0.308	4.84E-04	5.60E-04	-2.62E-04	5.60E-04	4.84E-04	0.04	0.08	0.00	0.08	0.04
141.19	0.07	0.08	0.05	0.12	0.03	0.78	0.71	0.81	0.200	0.545	0.250	0.545	0.385	6.32E-04	7.67E-04	-2.55E-04	7.67E-04	6.32E-04	0.05	0.12	0.00	0.12	0.05
151.27	0.10	0.12	0.07	0.15	0.03	0.73	0.66	0.81	0.300	0.636	0.312	0.636	0.462	7.28E-04	9.57E-04	-2.50E-04	9.57E-04	7.28E-04	0.06	0.15	0.00	0.15	0.06
161.35	0.12	0.16	0.10	0.18	0.04	0.65	0.62	0.75	0.400	0.727	0.375	0.727	0.538	8.74E-04	1.20E-03	-2.45E-04	1.20E-03	8.74E-04	0.08	0.20	0.00	0.20	0.08
171.44	0.14	0.19	0.14	0.23	0.04	0.62	0.59	0.70	0.500	0.818	0.438	0.818	0.615	1.11E-03	1.77E-03	-2.35E-04	1.77E-03	1.11E-03	0.11	0.30	0.00	0.30	0.11
181.52	0.15	0.22	0.18	0.28	0.05	0.58	0.56	0.65	0.600	0.909	0.500	0.909	0.692	1.24E-03	2.00E-03	-2.30E-04	2.00E-03	1.24E-03	0.12	0.34	0.00	0.34	0.12
191.61	0.19	0.27	0.19	0.31	0.07	0.54	0.53	0.60	0.700	1.000	0.562	1.000	0.769	1.47E-03	2.28E-03	-1.62E-04	2.28E-03	1.47E-03	0.15	0.40	0.00	0.40	0.15
201.69	0.22	0.31	0.20	0.34	0.09	0.51	0.50	0.56	0.800		0.625		0.846	1.61E-03	2.55E-03	-1.53E-04	2.55E-03	1.61E-03	0.16	0.44	0.00	0.44	0.16
211.78	0.25	0.32	0.20	0.38	0.12	0.48	0.47	0.53	0.900		0.687		0.923	2.11E-03	2.83E-03	-2.07E-04	2.83E-03	2.11E-03	0.21	0.50	0.00	0.50	0.21
221.86	0.27	0.33	0.21	0.42	0.15	0.45	0.44	0.49	1.000		0.750		1.000	2.29E-03	5.85E-03	-1.98E-04	5.85E-03	2.29E-03	0.23	1.05	0.00	1.05	0.23
231.95	0.34	0.50	0.23	0.47	0.18	0.42	0.42	0.47			0.813			3.03E-03	6.62E-03	-1.93E-04	6.62E-03	3.03E-03	0.31	1.19	0.00	1.19	0.31
242.03	0.40	0.66	0.24	0.52	0.21	0.40	0.39	0.44			0.875			3.26E-03	7.37E-03	-1.79E-04	7.37E-03	3.26E-03	0.34	1.33	0.00	1.33	0.34
252.12	0.47	0.78	0.31	0.69	0.29	0.37	0.37	0.41			0.937			3.60E-03	8.87E-03	-1.69E-04	8.87E-03	3.60E-03	0.38	1.61	0.00	1.61	0.38
262.20	0.53	0.90	0.37	0.86	0.37	0.33	0.34	0.39			1.000			3.80E-03	1.26E-02	-1.55E-04	1.26E-02	3.80E-03	0.40	2.30	0.00	2.30	0.40

Tabla I.12. Ancho de Grieta, Factor de Rigidez, Relación de Momentos y deformación unitaria en fibra de tensión para viga V-12 (PPR = 0.55).

CARGA TOTAL (kN)	ANCHO DE GRIETA MEDIDO (mm)					FACTOR DE RIGIDEZ "FR"			(Ma-Mcr)/(Mn-Mcr)					$\varepsilon_{ct}$ (mm/mm)					ANCHO DE GRIETA CALCULADO (mm)				
	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	1 CL1	2 CL2	3 CL3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3	CL 1	AP. 2	CL 2	AP. 3	CL 3
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.98	0.98	0.99	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.35E-04	-4.99E-04	-3.24E-04	-4.99E-04	-3.35E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10.08	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.98	0.98	0.99	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.83E-04	-2.30E-04	-3.18E-04	-2.30E-04	-2.83E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20.17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.98	0.99	0.99	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.47E-04	4.34E-05	-3.15E-04	4.34E-05	-2.47E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30.25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.96	0.99	0.96	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.94E-04	3.22E-04	-3.08E-04	3.22E-04	-1.94E-04	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00
40.34	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.00	0.99	0.99	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.42E-04	6.00E-04	-3.03E-04	6.00E-04	-1.42E-04	0.00	0.08	0.00	0.08	0.00
50.42	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.00	1.00	1.01	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-8.29E-05	8.80E-04	-2.98E-04	8.80E-04	-8.29E-05	0.00	0.13	0.00	0.13	0.00
60.51	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	1.01	1.00	0.96	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.79E-05	1.17E-03	-2.92E-04	1.17E-03	-2.79E-05	0.00	0.18	0.00	0.18	0.00
70.59	0.000	0.010	0.013	0.000	0.000	0.98	0.96	0.97	0.000	0.000	0.040	0.000	0.053	9.56E-06	1.45E-03	-2.88E-04	1.45E-03	9.56E-06	0.00	0.23	0.00	0.23	0.00
80.68	0.000	0.013	0.025	0.000	0.000	0.97	0.90	0.97	0.000	0.071	0.080	0.000	0.105	6.06E-05	1.75E-03	-2.83E-04	1.75E-03	6.06E-05	0.00	0.28	0.00	0.28	0.00
90.76	0.000	0.017	0.038	0.000	0.010	0.94	0.83	0.94	0.059	0.143	0.120	0.000	0.158	1.09E-04	2.04E-03	-2.78E-04	2.04E-03	1.09E-04	0.00	0.33	0.00	0.33	0.00
100.85	0.010	0.020	0.050	0.010	0.013	0.92	0.78	0.91	0.118	0.214	0.160	0.000	0.211	1.62E-04	2.34E-03	-2.72E-04	2.34E-03	1.62E-04	0.00	0.38	0.00	0.38	0.00
110.93	0.015	0.025	0.063	0.018	0.017	0.91	0.73	0.89	0.176	0.286	0.200	0.091	0.263	2.69E-04	2.66E-03	-2.65E-04	2.66E-03	2.69E-04	0.01	0.44	0.00	0.44	0.01
121.02	0.020	0.030	0.075	0.025	0.020	0.88	0.70	0.87	0.235	0.357	0.240	0.182	0.316	4.18E-04	2.96E-03	-2.61E-04	2.96E-03	4.18E-04	0.03	0.49	0.00	0.49	0.03
131.10	0.025	0.035	0.083	0.033	0.023	0.85	0.67	0.82	0.294	0.429	0.280	0.273	0.368	5.29E-04	3.28E-03	-2.55E-04	3.28E-03	5.29E-04	0.04	0.55	0.00	0.55	0.04
141.19	0.040	0.050	0.090	0.040	0.035	0.84	0.64	0.77	0.353	0.500	0.320	0.364	0.421	6.41E-04	3.63E-03	-2.49E-04	3.63E-03	6.41E-04	0.05	0.61	0.00	0.61	0.05
151.27	0.053	0.065	0.100	0.065	0.040	0.80	0.61	0.73	0.412	0.571	0.360	0.455	0.474	7.90E-04	4.02E-03	-2.43E-04	4.02E-03	7.90E-04	0.07	0.68	0.00	0.68	0.07
161.35	0.065	0.080	0.110	0.090	0.045	0.74	0.58	0.69	0.471	0.643	0.400	0.545	0.526	1.01E-03	4.35E-03	-2.36E-04	4.35E-03	1.01E-03	0.09	0.73	0.00	0.73	0.09
171.44	0.068	0.105	0.130	0.105	0.053	0.71	0.56	0.66	0.529	0.714	0.440	0.636	0.579	1.18E-03	4.61E-03	-2.30E-04	4.61E-03	1.18E-03	0.11	0.78	0.00	0.78	0.11
181.52	0.070	0.130	0.150	0.120	0.060	0.67	0.54	0.64	0.588	0.786	0.480	0.727	0.632	1.35E-03	4.91E-03	-2.25E-04	4.91E-03	1.35E-03	0.13	0.83	0.00	0.83	0.13
191.61	0.100	0.160	0.178	0.143	0.090	0.64	0.52	0.61	0.647	0.857	0.520	0.818	0.684	1.56E-03	5.20E-03	-2.20E-04	5.20E-03	1.56E-03	0.15	0.88	0.00	0.88	0.15
201.69	0.130	0.190	0.205	0.165	0.120	0.62	0.51	0.60	0.706	0.929	0.560	0.909	0.737	1.71E-03	5.44E-03	-2.13E-04	5.44E-03	1.71E-03	0.16	0.92	0.00	0.92	0.16
211.78	0.150	0.220	0.240	0.188	0.135	0.60	0.49	0.58	0.765	1.000	0.600	1.000	0.789	1.84E-03	5.75E-03	-2.08E-04	5.75E-03	1.84E-03	0.18	0.98	0.00	0.98	0.18
221.86	0.170	0.250	0.275	0.210	0.150	0.57	0.47	0.56	0.824		0.640		0.842	1.99E-03	7.06E-03	-2.01E-04	7.06E-03	1.99E-03	0.19	1.21	0.00	1.21	0.19
231.95	0.190	0.450	0.308	0.430	0.168	0.54	0.45	0.54	0.882		0.680		0.895	2.14E-03	8.49E-03	-1.91E-04	8.49E-03	2.14E-03	0.21	1.45	0.00	1.45	0.21
242.03	0.210	0.650	0.340	0.650	0.185	0.52	0.43	0.52	0.941		0.720		0.947	2.31E-03	9.11E-03	-1.82E-04	9.11E-03	2.31E-03	0.22	1.56	0.00	1.56	0.22
252.12	0.232	0.850	0.478	0.870	0.218	0.49	0.42	0.50	1.000		0.760		1.000	2.44E-03	9.58E-03	-1.75E-04	9.58E-03	2.44E-03	0.24	1.64	0.00	1.64	0.24
262.20	0.253	1.035	0.617	1.050	0.250	0.47	0.39	0.48			0.800			2.67E-03	1.02E-02	-1.68E-04	1.02E-02	2.67E-03	0.26	1.75	0.00	1.75	0.26
272.29	0.280	1.283	0.775	1.295	0.300	0.50	0.40	0.46			0.840			2.87E-03	1.18E-02	-1.58E-04	1.18E-02	2.87E-03	0.28	2.03	0.00	2.03	0.28
282.37	0.300	1.362			0.315	0.48	0.39	0.47			0.630	0.000		3.02E-03	1.17E-02	-1.79E-04	1.17E-02	3.02E-03	0.30	2.01	0.00	2.01	0.30
292.46	0.320	1.441			0.330	0.46	0.38	0.45			0.420	0.000		3.27E-03	1.66E-02	-1.69E-04	1.66E-02	3.27E-03	0.32	2.86	0.00	2.86	0.32
302.54	0.340	1.521			0.345	0.44	0.34	0.41			0.210	0.000		3.64E-03	1.13E-02	-1.54E-04	1.13E-02	3.64E-03	0.36		0.00	0.00	0.36
312.63	0.360	1.600		1.600	0.360	0.41	0.31	0.38			0.000			4.02E-03	6.11E-03	-1.38E-04	6.11E-03	4.02E-03	0.40		0.00	0.00	0.40

## **APÉNDICE J**

### **GRÁFICAS DE MOMENTOS ACTUANTES VS. ANCHO DE GRIETA EXPERIMENTAL**

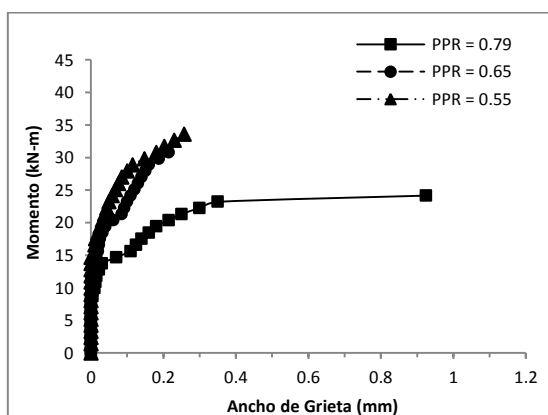


Figura J.1. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, Sección de 300 x 150 mm (V-1, V-2 y V-3).

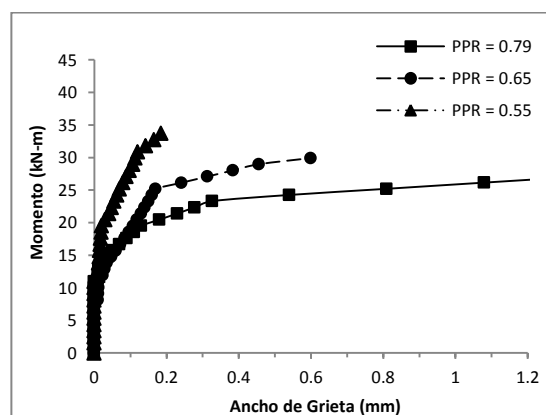


Figura J.2. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, Sección de 500 x 150 mm (V-4, V-5 y V-6).

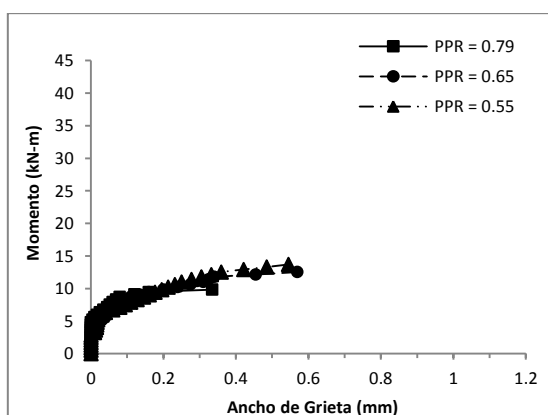


Figura J.3. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, Sección de 300 x 150 mm (V-1, V-2 y V-3).

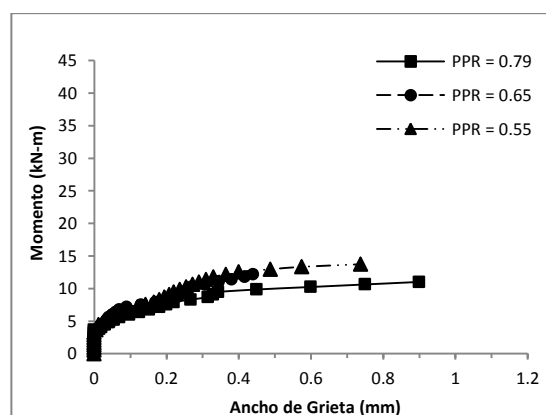


Figura J.4. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, Sección de 500 x 150 mm (V-4, V-5 y V-6).

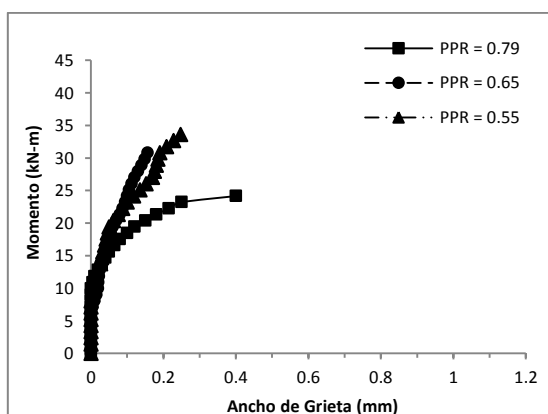


Figura J.5. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 3, Sección de 300 x 150 mm (V-1, V-2 y V-3).

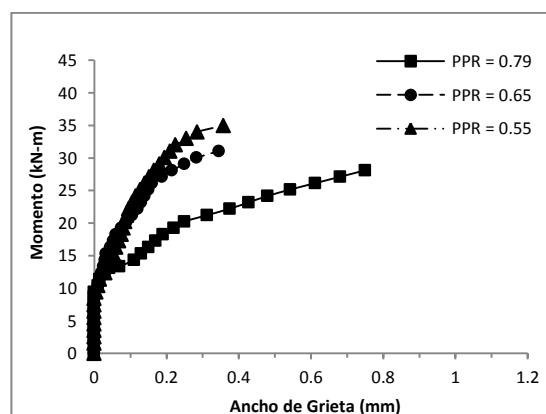


Figura J.6. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 3, Sección de 500 x 150 mm (V-4, V-5 y V-6).

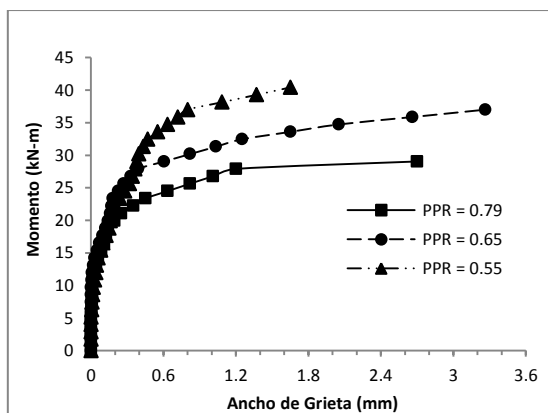


Figura J.7. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección de 300 x 150 mm (V-1, V-2 y V-3).

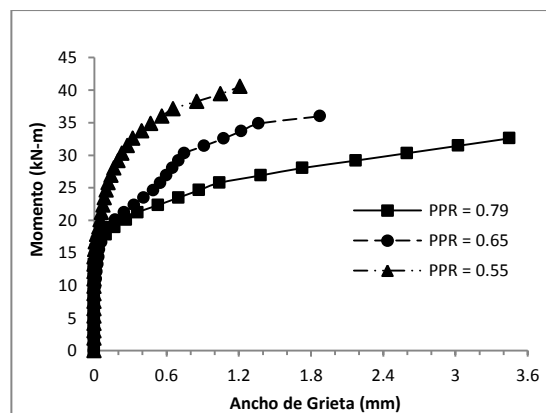


Figura J.8. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección de 500 x 150 mm (V-4, V-5 y V-6).

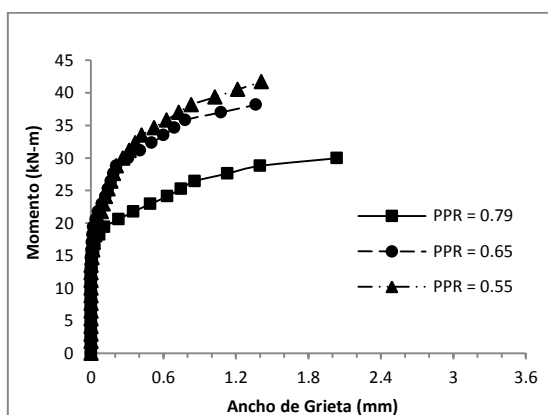


Figura J.9. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 3, Sección de 300 x 150 mm (V-1, V-2 y V-3).

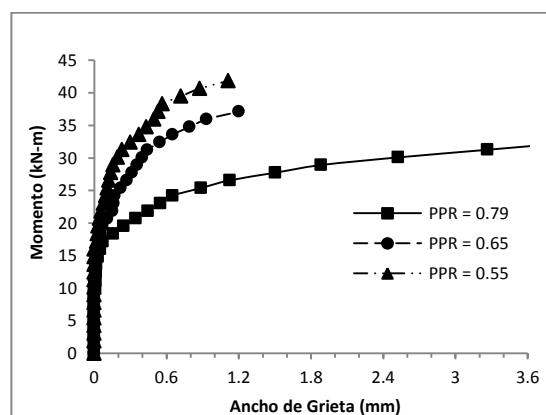


Figura J.10. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 3, Sección de 500 x 150 mm (V-4, V-5 y V-6).

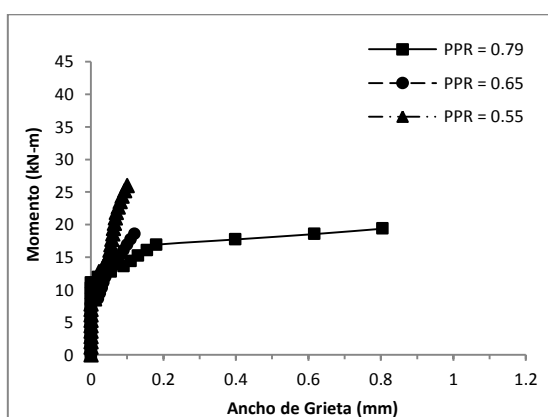


Figura J.11. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, Sección de 300 x 150 mm (V-7, V-8 y V-9).

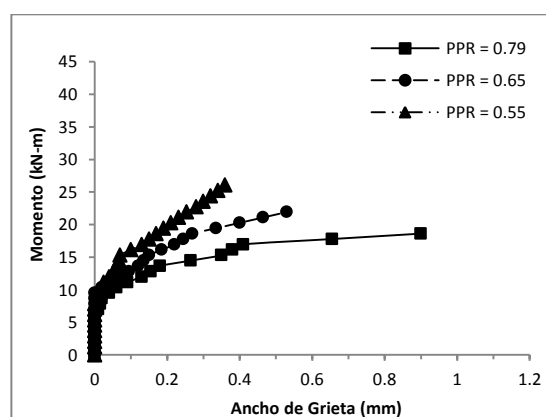


Figura J.12. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, Sección de 500 x 150 mm (V-10, V-11 y V-12).

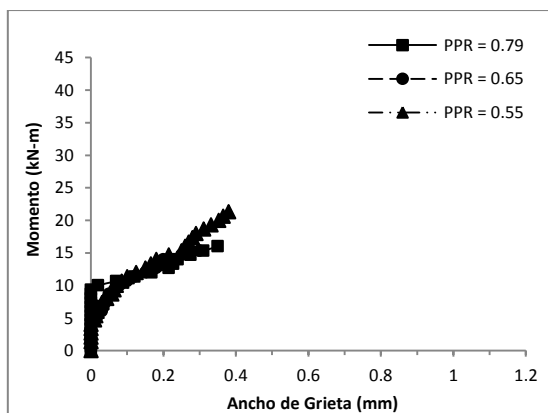


Figura J.13. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, Sección de 300 x 150 mm (V-7, V-8 y V-9).

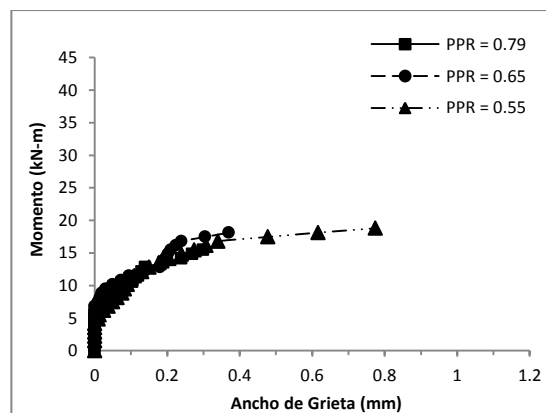


Figura J.14. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, Sección de 500 x 150 mm (V-10, V-11 y V-12).

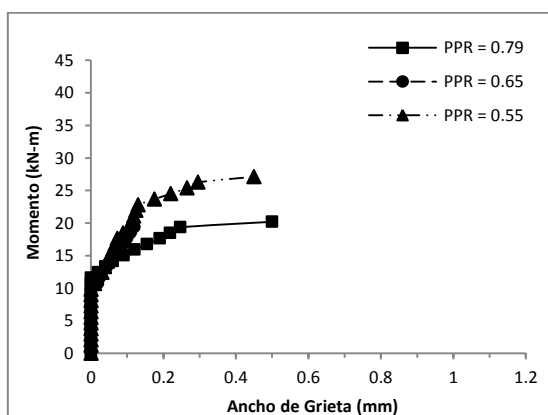


Figura J.15. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 3, Sección de 300 x 150 mm (V-7, V-8 y V-9).

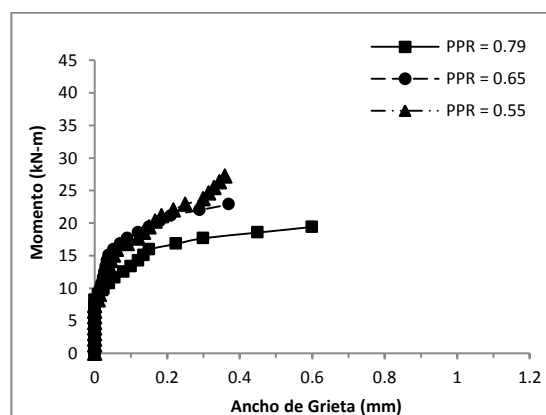


Figura J.16. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 3, Sección de 500 x 150 mm (V-10, V-11 y V-12).

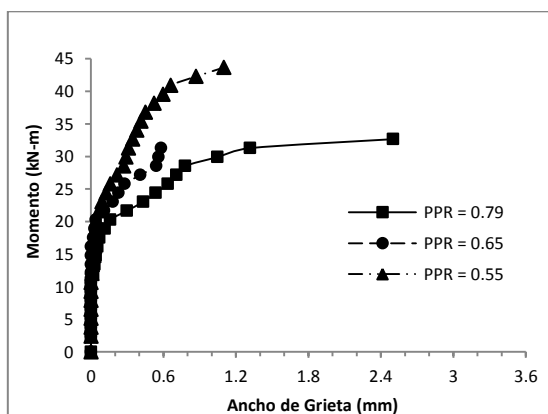


Figura J.17. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección de 300 x 150 mm (V-7, V-8 y V-9).

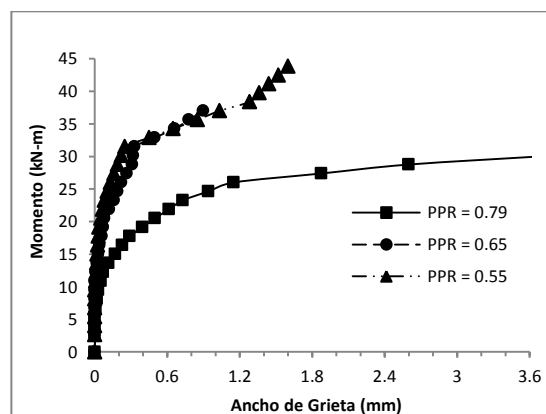


Figura J.18. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección de 500 x 150 mm (V-10, V-11 y V-12).



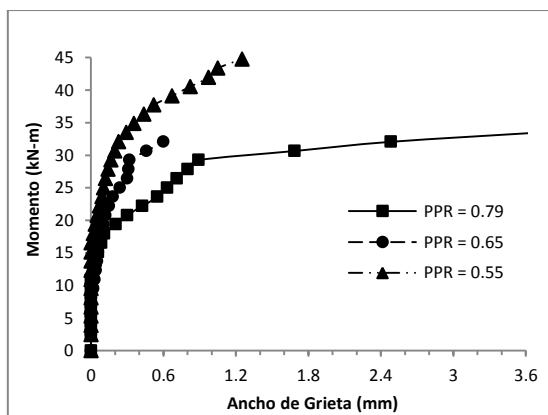


Figura J.19. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 3, Sección de 300 x 150 mm (V-7, V-8 y V-9).

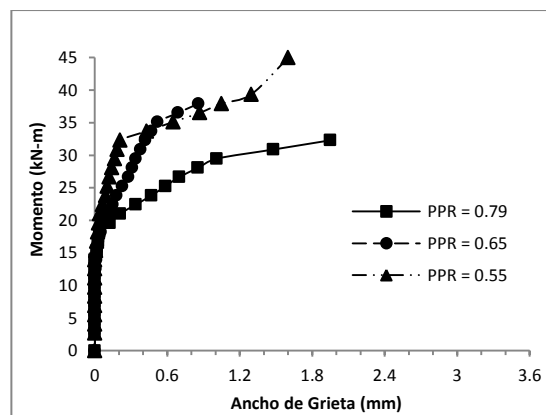


Figura J.20. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 3, Sección de 500 x 150 mm (V-10, V-11 y V-12).

## **APÉNDICE K**

### **GRÁFICAS DE FACTOR DE RIGIDEZ VS. ANCHO DE GRIETA EXPERIMENTAL**

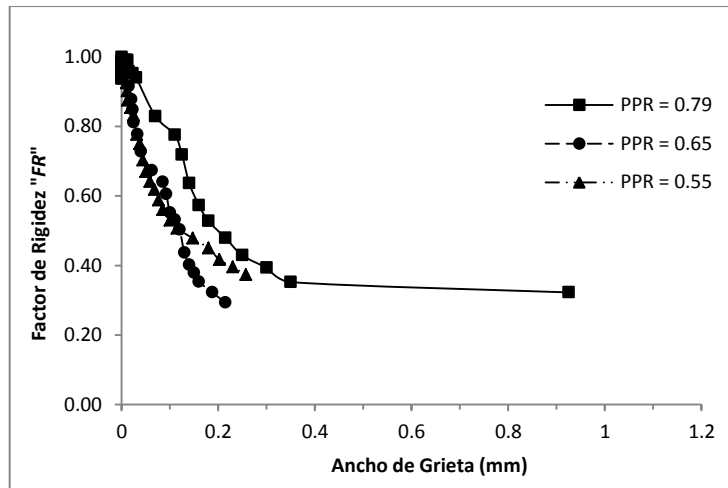


Figura K.1. Gráfica de Factor de Rigidez "FR" vs. Ancho de Grieta, Claro 1 (V-1, V-2 y V-3).

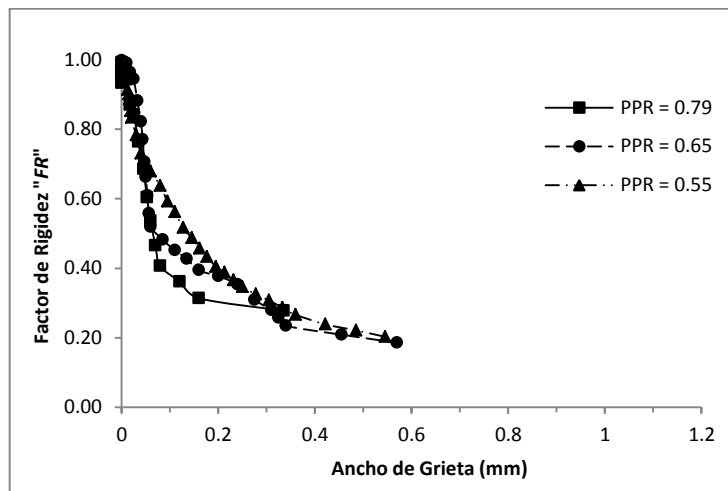


Figura K.2. Gráfica de Factor de Rigidez "FR" vs. Ancho de Grieta, Claro 2 (V-1, V-2 y V-3).

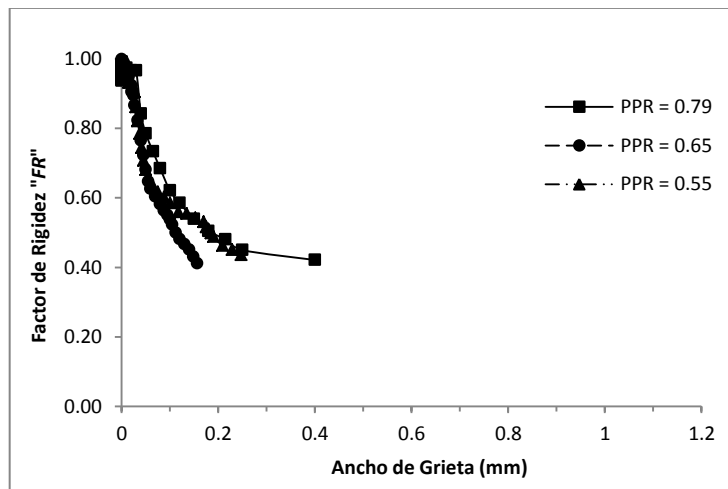


Figura K.3. Gráfica de Factor de Rigidez "FR" vs. Ancho de Grieta, Claro 3 (V-1, V-2 y V-3).

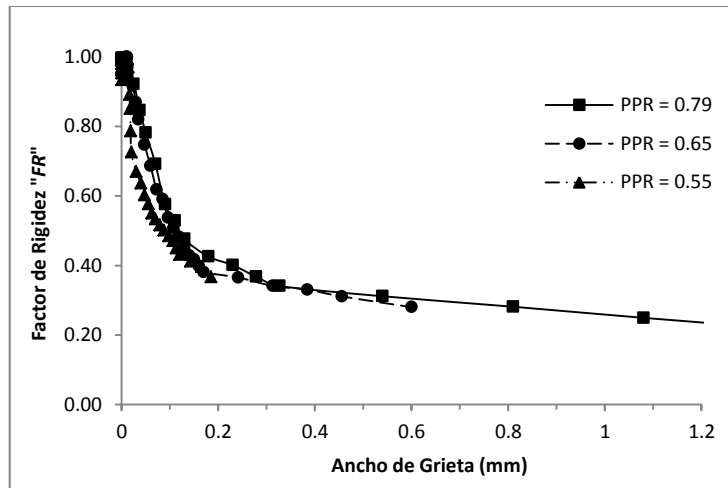


Figura K.4. Gráfica de Factor de Rigidez "FR" vs. Ancho de Grieta, Claro 1 (V-4, V-5 y V-6).

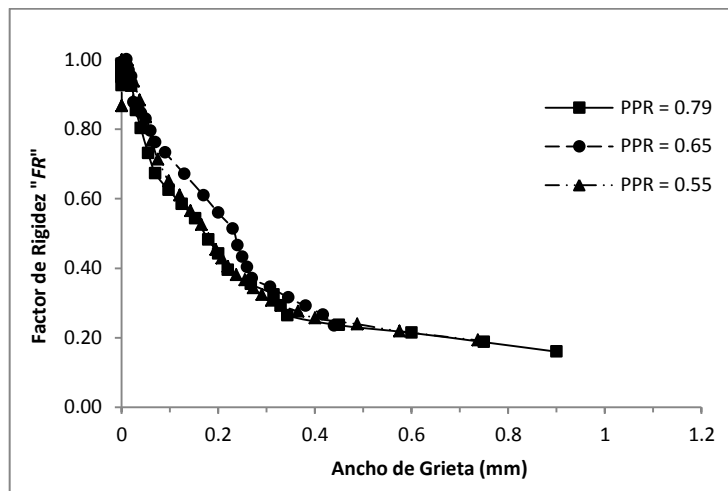


Figura K.5. Gráfica de Factor de Rigidez "FR" vs. Ancho de Grieta, Claro 2 (V-4, V-5 y V-6).

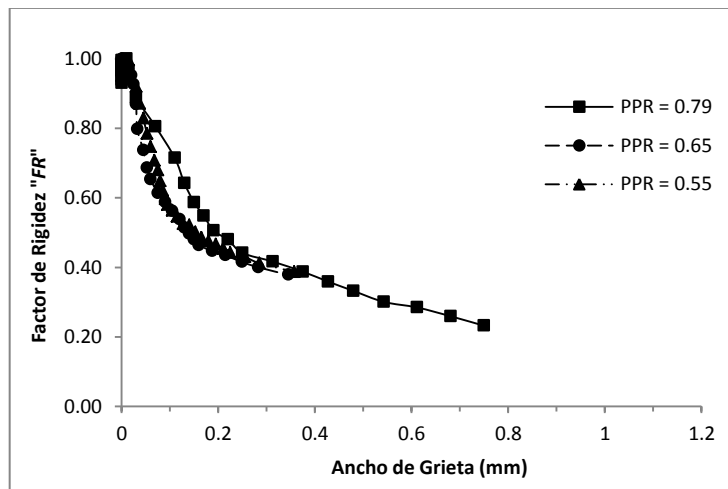


Figura K.6. Gráfica de Factor de Rigidez "FR" vs. Ancho de Grieta, Claro 3 (V-4, V-5 y V-6).

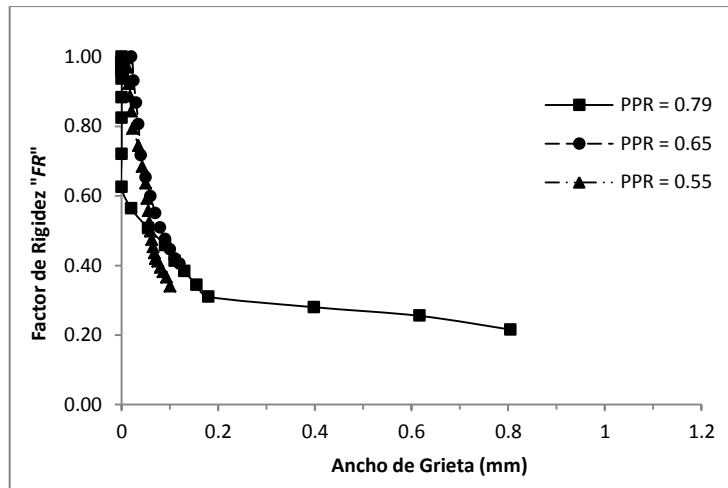


Figura K.7. Gráfica de Factor de Rigidez "FR" vs. Ancho de Grieta, Claro 1 (V-7, V-8 y V-9).

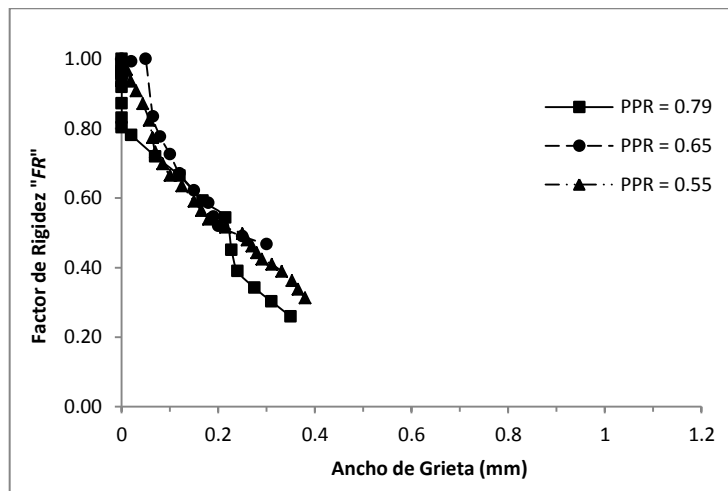


Figura K.8. Gráfica de Factor de Rigidez "FR" vs. Ancho de Grieta, Claro 2 (V-7, V-8 y V-9).

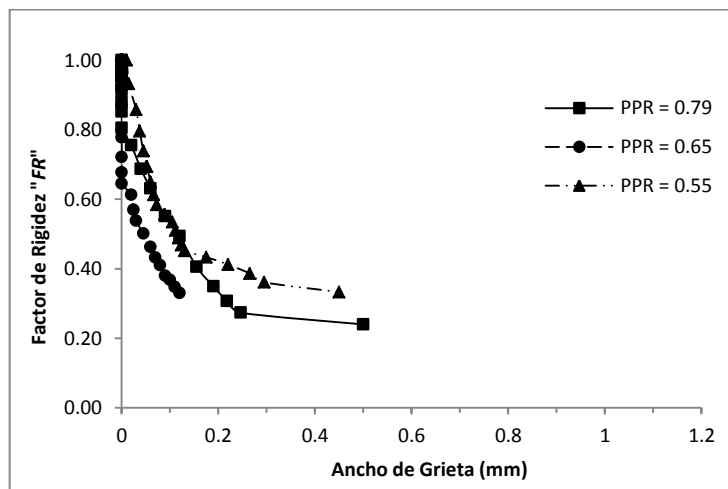


Figura K.9. Gráfica de Factor de Rigidez "FR" vs. Ancho de Grieta, Claro 3 (V-7, V-8 y V-9).

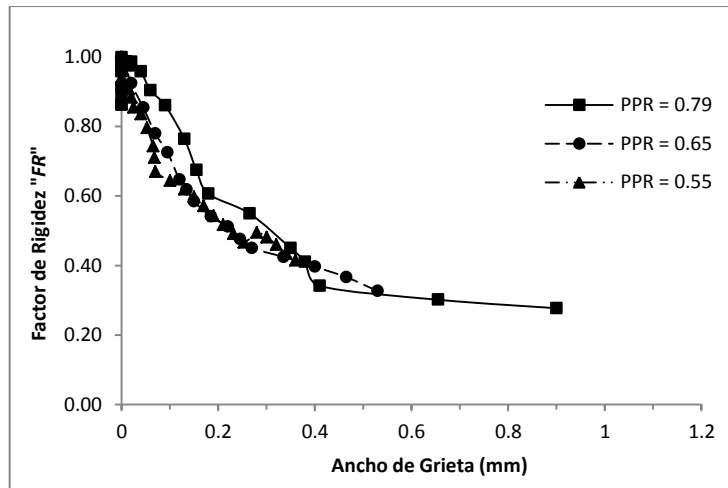


Figura K.10. Gráfica de Factor de Rigidez "FR" vs. Ancho de Grieta, Claro 1 (V-10, V-11 y V-12).

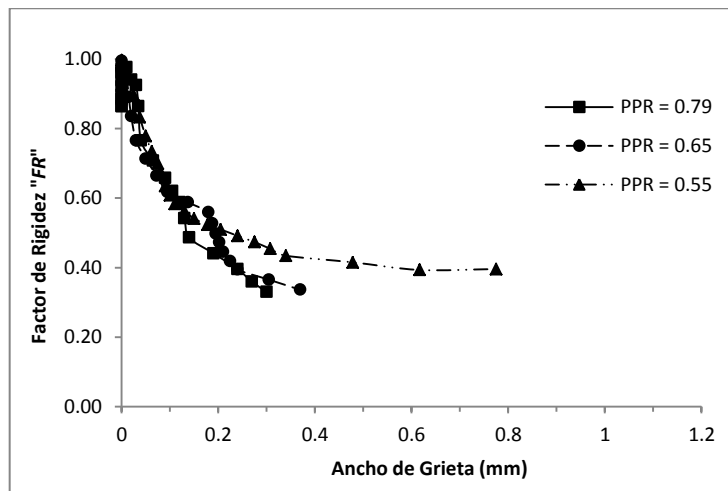


Figura K.11. Gráfica de Factor de Rigidez "FR" vs. Ancho de Grieta, Claro 2 (V-10, V-11 y V-12).

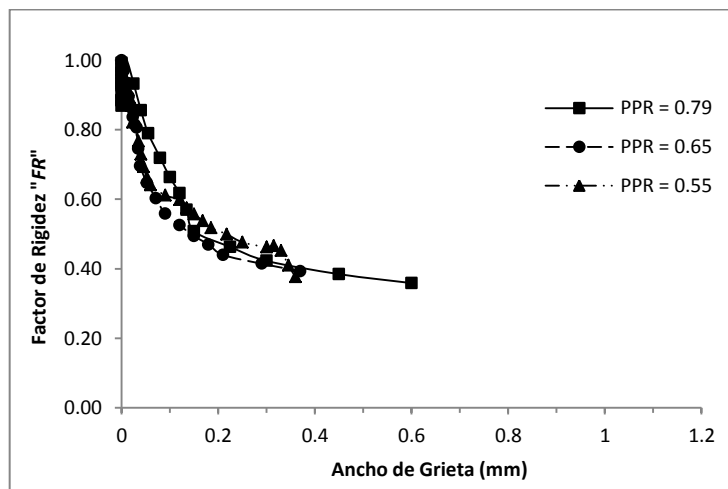


Figura K.12. Gráfica de Factor de Rigidez "FR" vs. Ancho de Grieta, Claro 3 (V-10, V-11 y V-12).

## **APÉNDICE L**

### **GRÁFICAS DE MOMENTOS ACTUANTES VS. ANCHO DE GRIETA CALCULADO Y MEDIDO EXPERIMENTALMENTE**

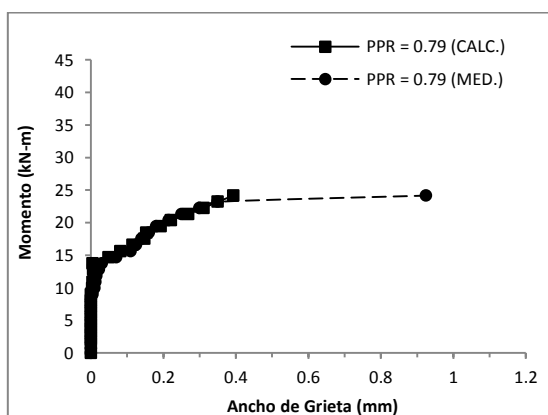


Figura L.1 Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, sección de 300 x 150 mm,  $PPR = 0.79$  (V-1).

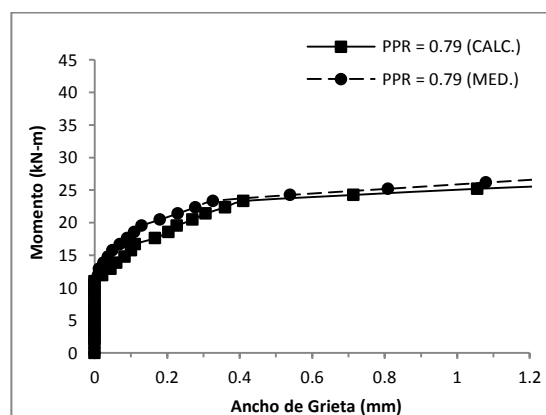


Figura L.2. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, sección de 500 x 150 mm,  $PPR = 0.79$  (V-4).

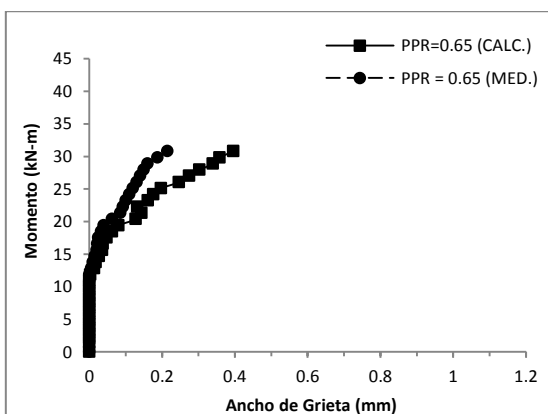


Figura L.3. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, sección de 300 x 150 mm,  $PPR = 0.65$  (V-2).

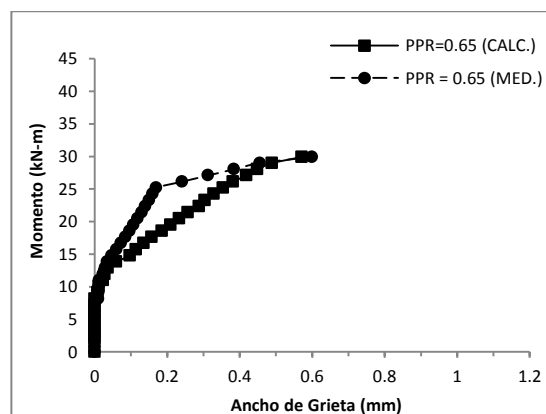


Figura L.4. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, sección de 500 x 150 mm,  $PPR = 0.65$  (V-5).

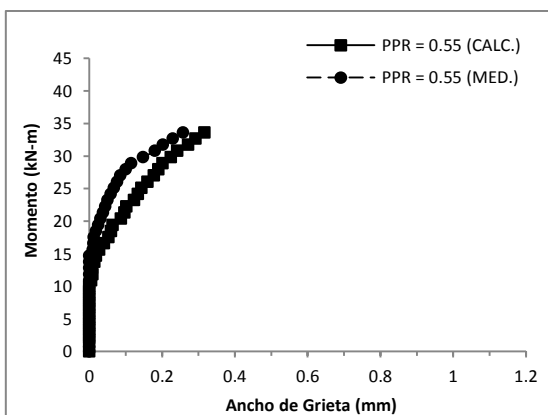


Figura L.5. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, sección de 300 x 150 mm,  $PPR = 0.55$  (V-3).

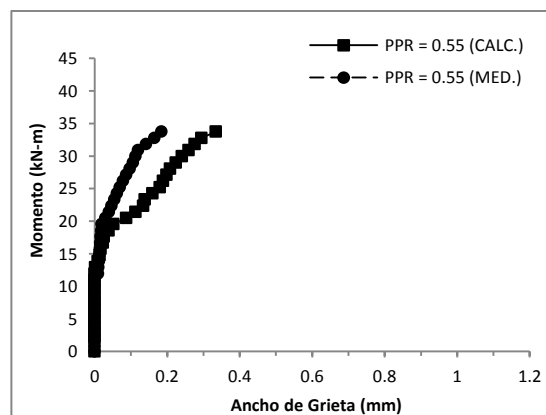


Figura L.6. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, sección de 500 x 150 mm,  $PPR = 0.55$  (V-6).



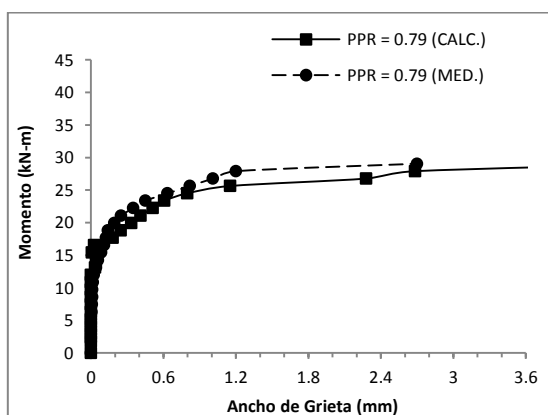


Figura L.7. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección de 300 x150 mm, PPR = 0.79 (V-1).

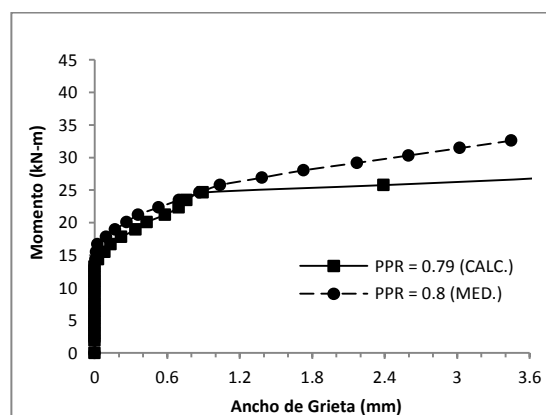


Figura L.8. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección de 500 x150 mm, PPR = 0.79 (V-4).

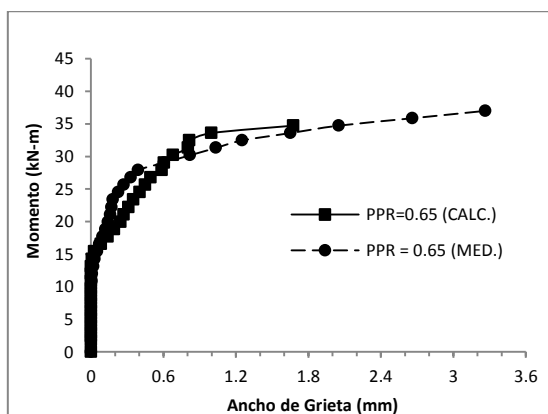


Figura L.9. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección de 300 x150 mm, PPR = 0.65 (V-2).

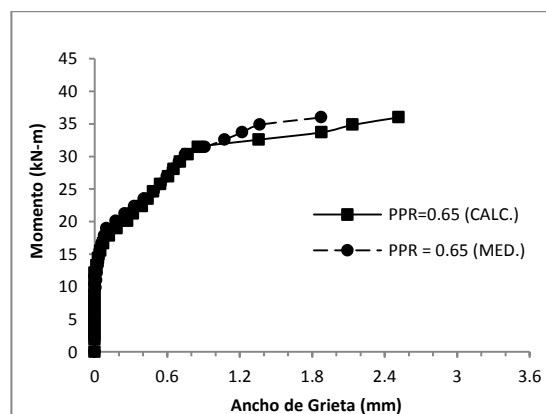


Figura L.10. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección de 500 x150 mm, PPR = 0.65 (V-5).

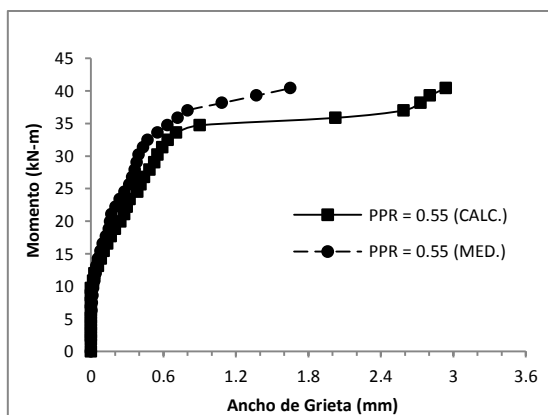


Figura L.11. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección de 300 x150 mm, PPR = 0.55 (V-3).

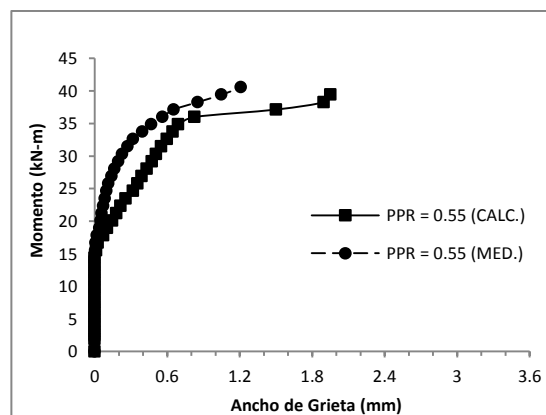


Figura L.12. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección de 500 x150 mm, PPR = 0.55 (V-6).

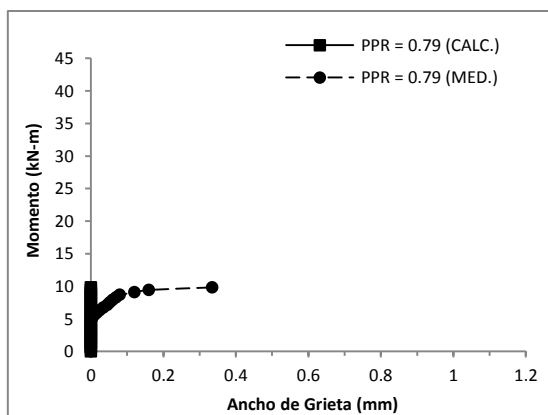


Figura L.13. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, Sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-1).

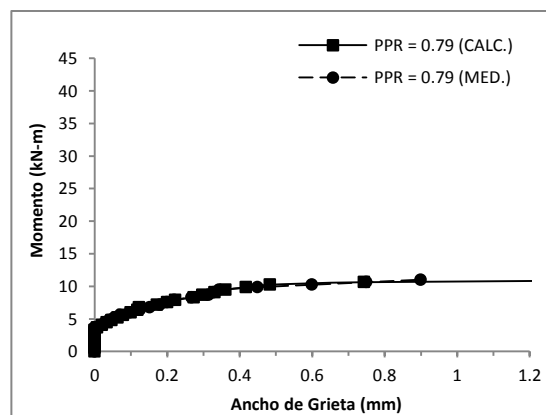


Figura L.14. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, Sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-4).

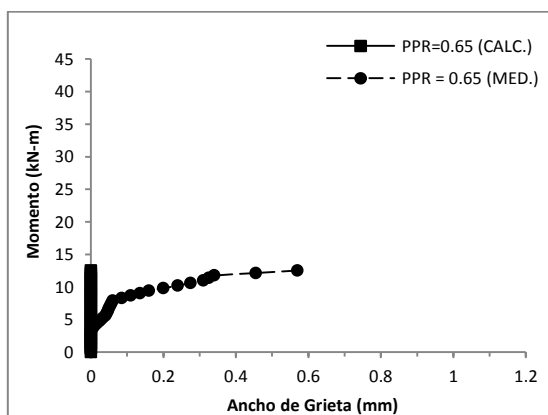


Figura L.15. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, Sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.65 (V-2).

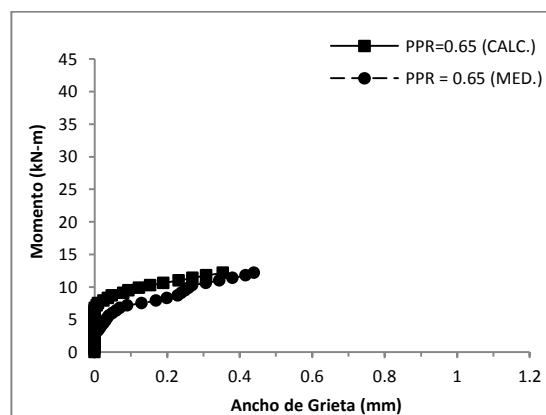


Figura L.16. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, Sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.65 (V-5).

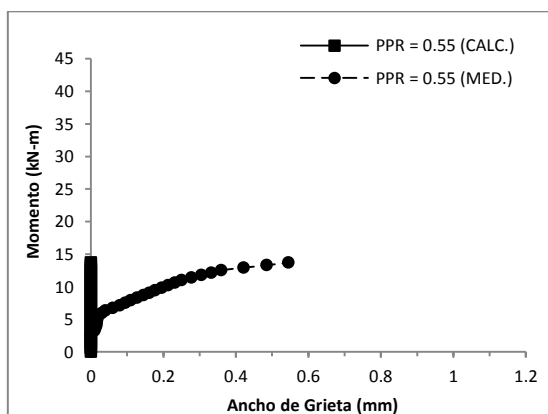


Figura L.17. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, Sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.55 (V-3).

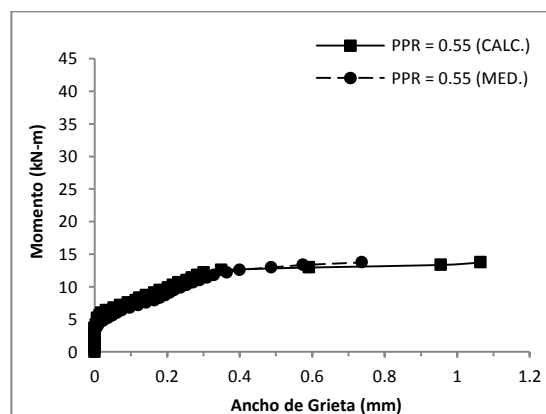


Figura L.18. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, Sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.55 (V-6).

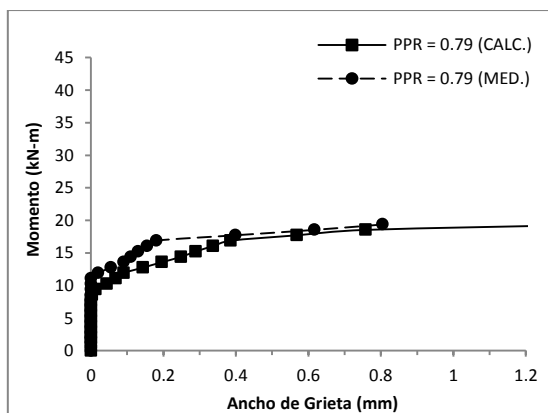


Figura L.19. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, Sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-7).

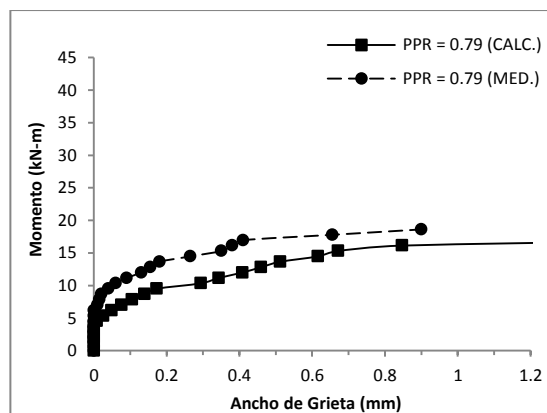


Figura L.20. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, Sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.79 (V-10).

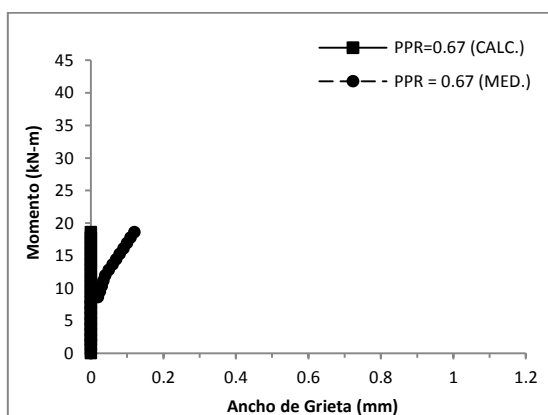


Figura L.21. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, Sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.65 (V-8).

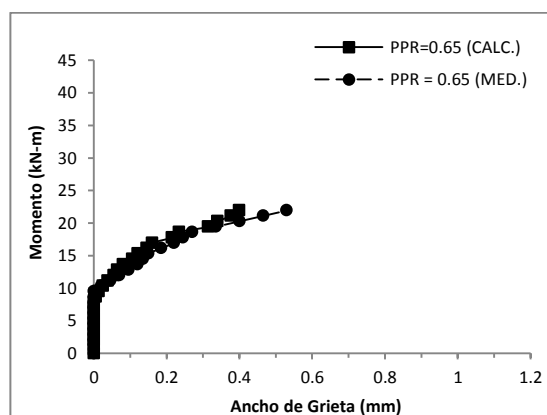


Figura L.22. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, Sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.65 (V-11).

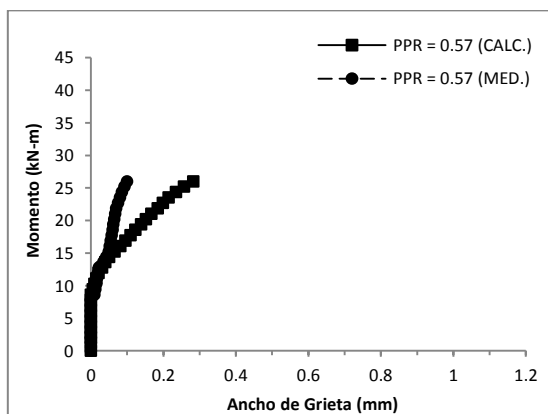


Figura L.23. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, Sección de 300 x 150 mm, PPR = 0.55 (V-9).

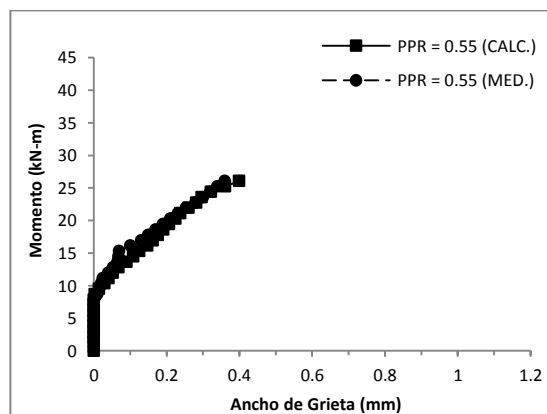


Figura L.24. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 1, Sección de 500 x 150 mm, PPR = 0.55 (V-12).

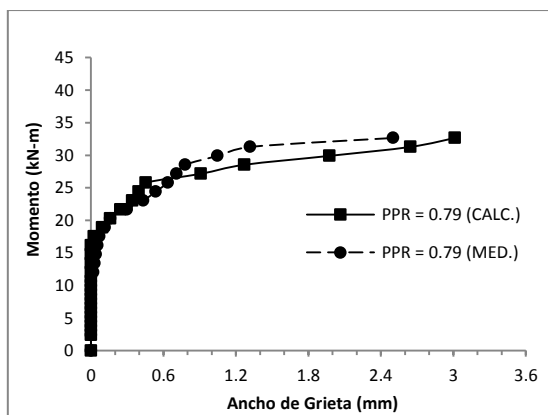


Figura L.25. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección de 300 x150 mm, PPR = 0.79 (V-7).

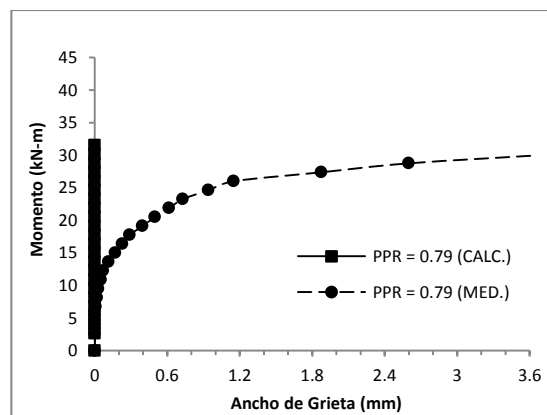


Figura L.26. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección de 500 x150 mm, PPR = 0.79 (V-10).

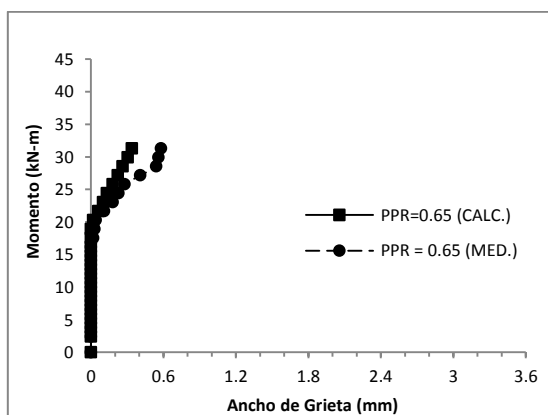


Figura L.27. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección de 300 x150 mm, PPR = 0.65 (V-8).

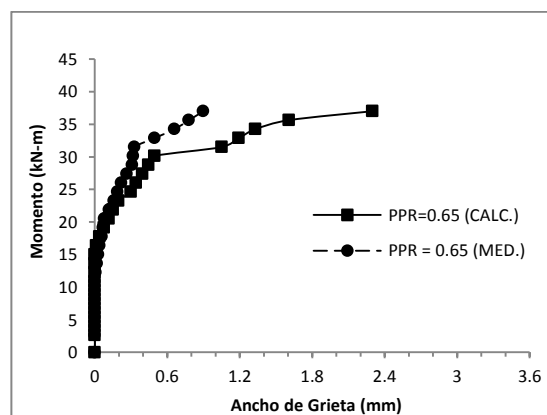


Figura L.28. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección de 500 x150 mm, PPR = 0.65 (V-11).

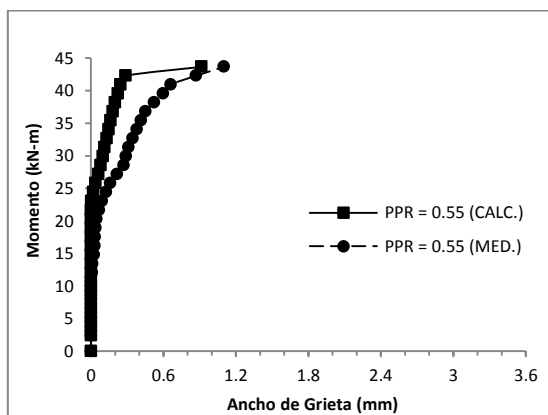


Figura L.29. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección de 300 x150 mm, PPR = 0.55 (V-9).

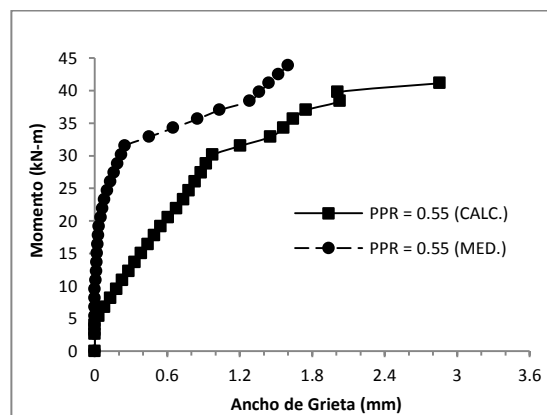


Figura L.30. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Apoyo 2, Sección de 500 x150 mm, PPR = 0.55 (V-12).

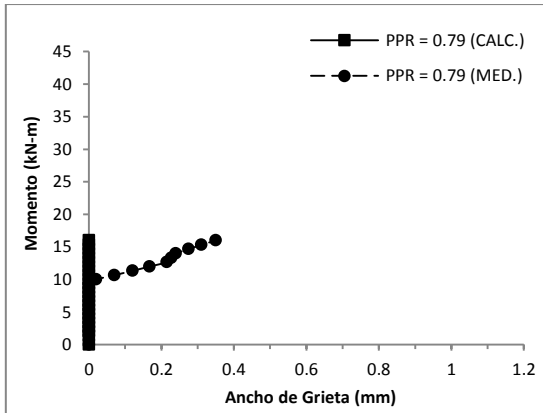


Figura L.31. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, Sección de 300 x150 mm, PPR = 0.79 (V-7).

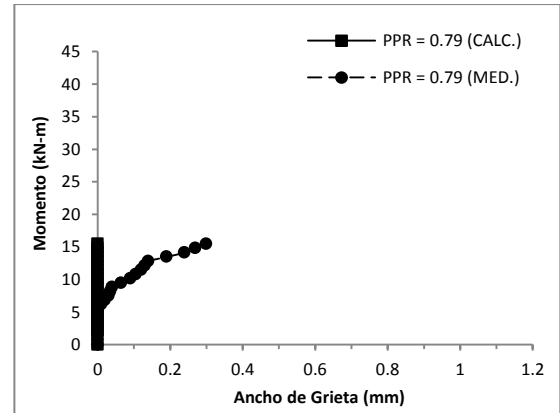


Figura L.32. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, Sección de 500 x150 mm, PPR = 0.79 (V-10).

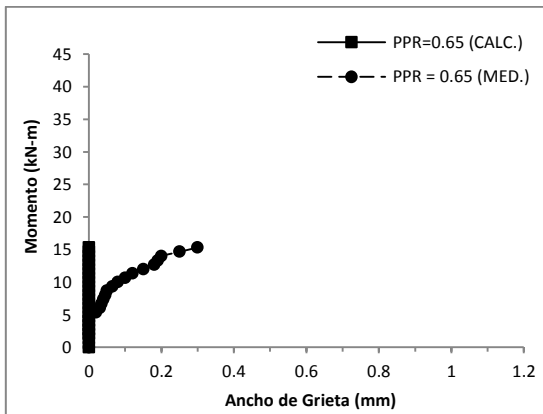


Figura L.33. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, Sección de 300 x150 mm, PPR = 0.65 (V-8).

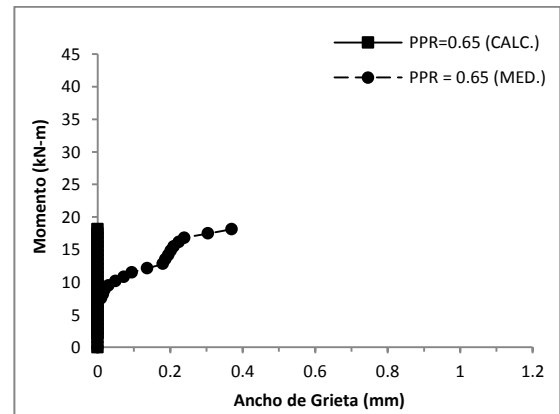


Figura L.34. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, Sección de 500 x150 mm, PPR = 0.65 (V-11).

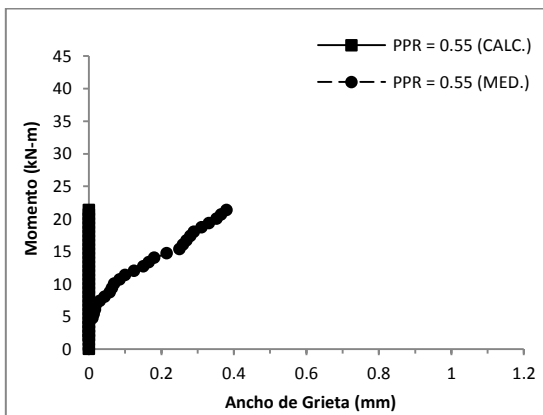


Figura L.35. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, Sección de 300 x150 mm, PPR = 0.55 (V-9).

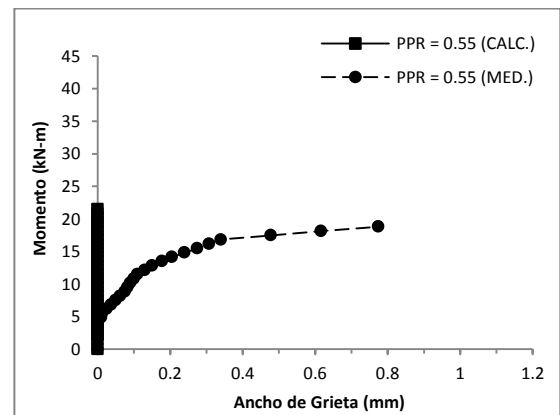


Figura L.36. Gráfica de Momento vs. Ancho de Grieta en Claro 2, Sección de 500 x150 mm, PPR = 0.55 (V-12).

Tabla L.1. Factores  $K_w$  obtenidos experimentalmente para la ecuación propuesta del ancho de grieta.

VIGA	CLARO 1 Y 3	APOYOS 2 Y 4	CLARO 2
V-1	3.12	1.23	
V-2	0.74	3.85	
V-3	1.09	1.63	
V-4	1.02	1.6	1.45
V-5	1.37	2.32	1.39
V-6	0.82	1.63	1.32
V-7	1.17	2.9	
V-8			
V-9	1		
V-10	0.73		
V-11	1.88	3.86	1
V-12	1.3	0.81	
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.29</b>	<b>2.20</b>	<b>1.29</b>